

第十六屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA16-417

作品名稱：筆筆皆是 bubble

姓名：王資文

關鍵字：氣泡、高度、黏滯係數

目錄

摘要	2
壹、研究動機	3
貳、研究目的	4
參、研究設備與器材	5
肆、研究過程及方法	6
實驗一	
實驗二	
伍、研究結果	10
陸、討論	16
柒、結論	22
捌、應用與展望	23
玖、參考資料及其他	25
拾、附錄	26

摘要

大家在用原子筆時，會不小心將筆掉到地上，常常有「喔不！斷水了」的錐心之痛。在斷水的筆芯中，我發現墨水中氣泡的出現，這讓我好奇究竟是什麼原因形成氣泡？有哪些條件會影響氣泡的形式？查 google 大神，並沒有相關研究，激發我想研究探討氣泡的出現的成因與機制。

我設計了關於吸管内裝太白粉溶液與空氣的實驗裝置，研究成果得到不同濃度的太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度的趨勢線 $y = 6.43x^{1.95}$ ，太白粉溶液黏滯係數與濃度的趨勢線 $y = 0.86\ln(x) + 2.28$ ，以及對應的不同黏滯係數的太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度之間的趨勢線 $y = 45.91x^{0.36}$ ，並且用高速攝影機拍得吸管掉落時溶液變化，以高中物理說明氣泡形成的成因及形式。

本作品可以應用在改良原子筆墨水，醫療器材管線裏血液中的氣泡控管，粒子物理氣泡室的提升效果。

展望研究有相同黏滯係數的不同溶液，產生氣泡的最低掉落高度，以及研究原子筆墨水的黏滯係數，使得能有效減少產生氣泡，避免原子筆斷水。

壹、研究動機

大家在用原子筆時，會不小心將筆掉到地上，常常有「喔不！斷水了」的錐心之痛。當我觀察斷水的筆芯時，發現墨水中有氣泡，這讓我好奇究竟是什麼原因形成氣泡？有哪些條件會影響氣泡的形式？激發我想探討氣泡出現的成因與機制。

可是查了 google 大神，並沒有相關資料與研究。

由 google 查詢，原子筆的墨水成分中有添加增稠劑，有天然的膠質物和化學的有機化合物增稠劑，而太白粉為一種天然的膠質物，所以我設計了相關的實驗裝置，加以研究。

貳、研究目的

一、針對不同濃度的太白粉溶液：

(一)研究不同濃度的太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度的關係式。

(二)研究太白粉溶液的濃度與黏滯係數的關係式。

(三)研究對應的不同黏滯係數的太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度之間的關係式。

二、利用高速攝影機拍攝吸管掉落的過程，研究過程中溶液的變化。

三、以高中物理說明氣泡形成的成因及形式。

參、研究設備及器材

一、研究器材：

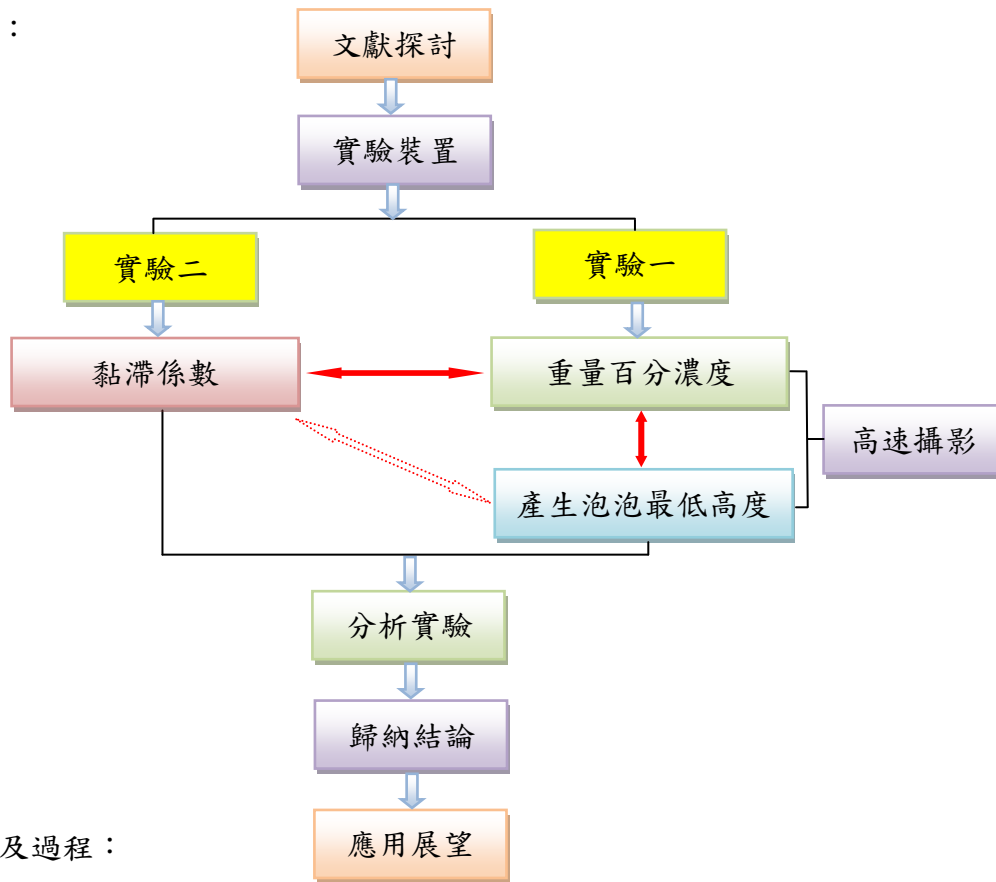
太白粉	燒杯	鋼杯	玻棒
			
電磁爐	墨水	可調式微量滴管	吸管
			
鉛線	木板	螺帽	塑膠管
			
電磁鐵	光電控制計時計數器	腳架	黏滯係數測定儀
			
光電計時器	高速攝影機	保麗龍板	鹵素燈
			

二、電腦軟體

(一) Microsoft Excel 2010。

肆、研究過程或方式

一、研究流程：



二、研究方法及過程：

實驗一：

不同濃度的太白粉溶液掉落而產生氣泡的最低掉落高度

(一)先將吸管一端以熱熔膠密封，在熱熔膠中間插入一根鉛線，將已知重量百分濃度的太白粉溶液灌入吸管至高度的一半，吸管另一端以熱熔膠密封，並在熱熔膠中間插入一根鉛線。

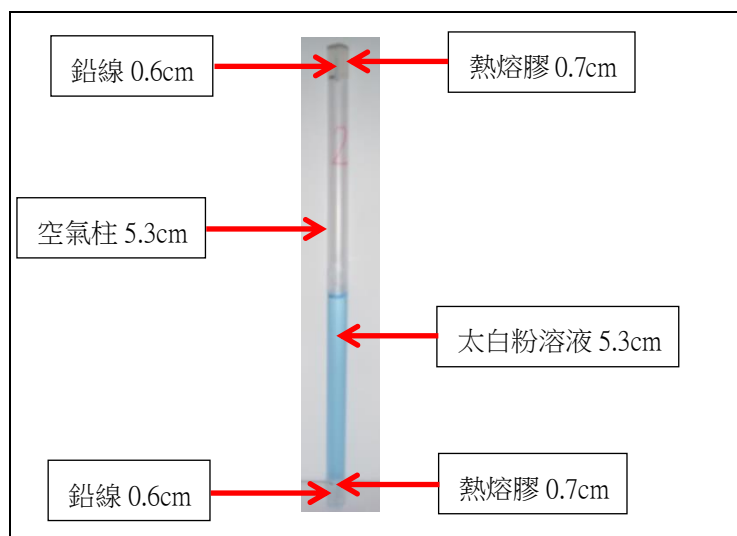


圖 1 封入太白粉溶液和空氣的吸管實驗裝置

(二)將吸管以空氣上溶液下的方式鉛直掛在通電的電磁鐵上，如下圖，切斷電源，吸管掉落，吸管掉落塑膠管內，觀察記錄吸管中氣泡變化過程與結果。每一支吸管重複以上所述，實驗掉落 20 次。

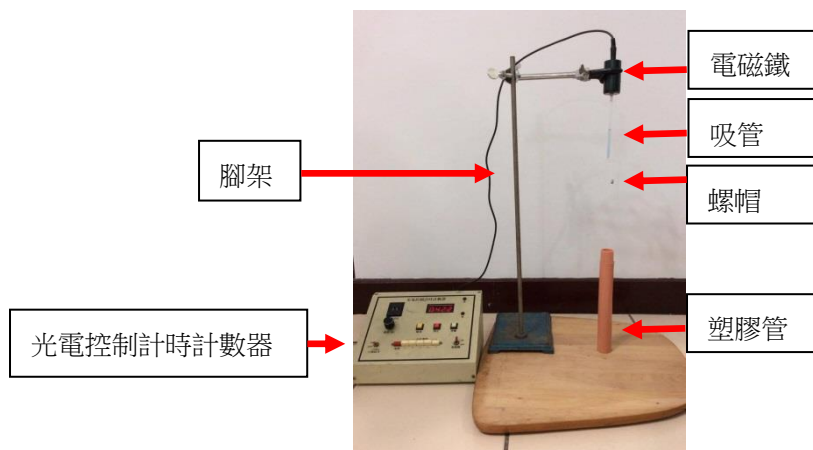


圖 2 測定吸管掉落而產生氣泡的實驗裝置

(三) 實驗過程：

1.不同濃度的太白粉溶液產生氣泡所需高度：

(1)同一個濃度與高度每支吸管實驗掉落20次，實驗10支吸管，高速攝影氣泡產生的過程，並做紀錄；濃度固定，改變吸管掉落高度，間隔10公分，重複上述實驗。

(2)改變濃度，間隔 0.5%，重複 1、(1)上述實驗。

2.測量不同濃度的太白粉溶液的黏滯係數。

3.濃度固定時，重複 1、(1)上述實驗中，當高度為 n 公分時，每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管，共 200 次，都沒有產生氣泡；當高度為 $n+10$ 公分時，每支吸管實驗掉落 20 次，都會至少出現 1 次氣泡，實驗 10 支吸管都如此；就稱該濃度太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度為 $n+10$ 公分。

(四)以高速攝影機拍攝吸管掉落過程溶液的變化。

(五)資料處理：以 Microsoft Excel 2010 資料處理以及繪製趨勢線圖。

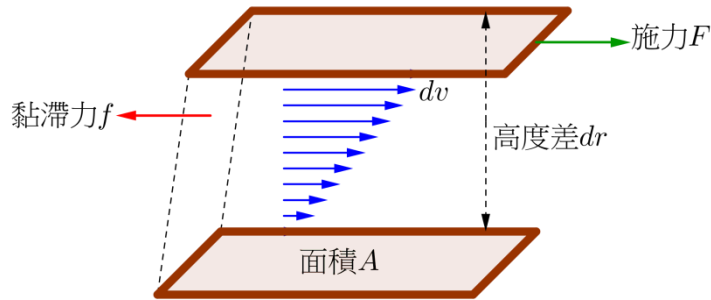
實驗二：

測量不同濃度太白粉溶液的黏滯係數。

因為氣泡在太白粉溶液中，受到太白粉溶液分子間的黏滯阻力，因此需要測定不同濃度的太白粉溶液的黏滯係數。首先先來看看黏滯係數的原理。

(一)黏滯係數原理：

如下圖，兩個平行板，其高度差為 dr ，中間夾著液體，固定下面那片平板，上面那片平板受到施力 F ，



因為液體具有黏滯性，黏滯力 f 和施力 F 方向相反，由實驗觀察知道，黏滯力 f 的大小和平行板的面積 A 以及平行板的相對速度 dv 成正比，和平行板間的距離 dr 成反比，即

$$-F=f=\eta \cdot A \cdot \frac{dv}{dr} \quad , \text{其中常數 } \eta \text{ 為黏滯係數 (viscosity)}$$

變換一下，得到

$$\eta = \frac{-F}{A} \cdot \frac{dr}{dv}$$

黏滯係數單位為泊(poise)， $1 \text{ poise} = 1 \text{ dyne} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$ 。

(二)黏滯係數測定：

黏滯係數測定儀如下

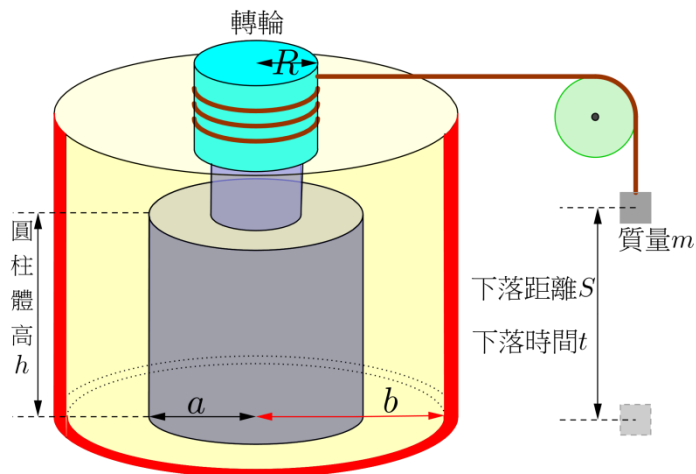


圖 4 黏滯係數測定儀

其中 m 為砝碼質量； R 為轉輪軸半徑； h 為圓柱體高； a 為圓柱半徑； b 為外桶內半徑； S 為下落距離； t 為下落時間。

當砝碼下落，距離轉軸為 r 的液體運動速度為 $v=\omega r$ ，此時 $\omega=\omega(r)$ ，因為

$$\frac{dv}{dr} = \frac{d(\omega r)}{dr} = \omega + \frac{d\omega}{dr}$$

$\omega = \omega(r)$ ，對不同層流之間的摩擦力沒有影響，所以討論黏滯係數，僅需看 $\frac{d\omega}{dr}$ 。

因此黏滯係數可表示為

$$\eta = -\frac{F}{A} \cdot \frac{1}{r \frac{d\omega}{dr}} = -\frac{L/r}{2\pi rh} \cdot \frac{1}{r \frac{d\omega}{dr}} = -\frac{Ldr}{2\pi r^3 h d\omega}$$
，其中 L 為力矩， $L = mgR$ ，

因此 $d\omega = -\frac{Ldr}{2\pi r^3 h \eta}$ ，積分得到

$$-\omega = \int_{\omega}^0 d\omega = \int_a^b -\frac{Ldr}{2\pi r^3 h \eta} dr = \frac{L}{4\pi h \eta} \left(\frac{1}{b^2} - \frac{1}{a^2} \right) = \frac{mgR}{4\pi h \eta} \left(\frac{1}{b^2} - \frac{1}{a^2} \right)$$

就可以知道黏滯係數 $\eta = \frac{mgR}{4\pi h \omega} \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2} \right) = \frac{mgR^2 t}{4\pi h S} \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2} \right)$

(三)實驗裝置：

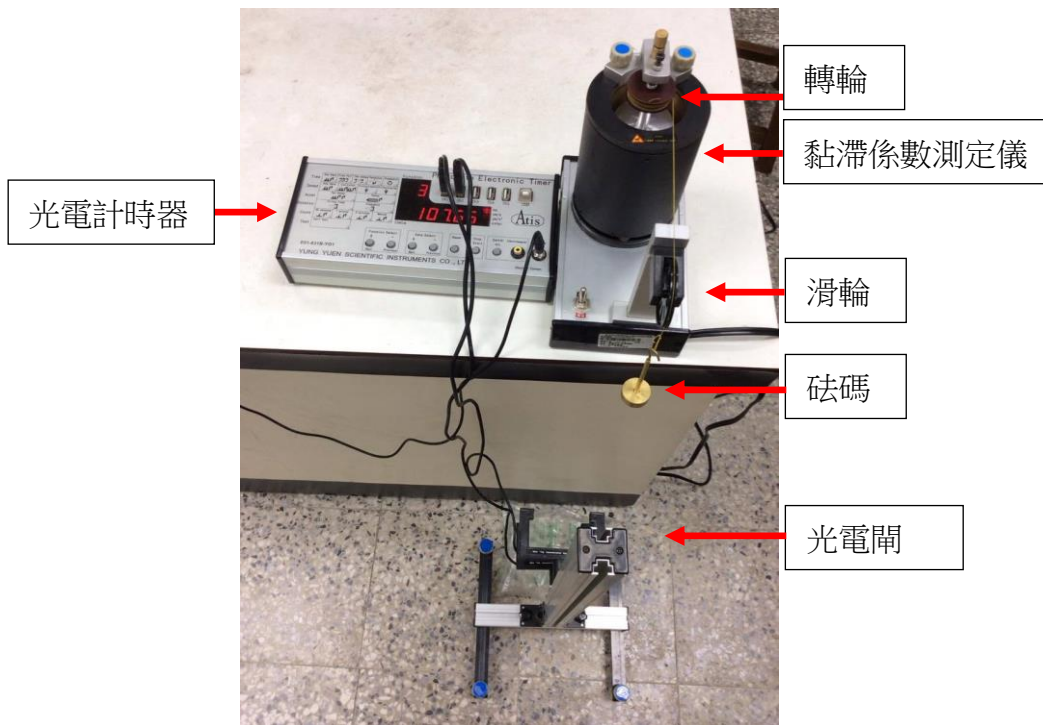


圖 3 測定黏滯係數的實驗裝置

(三)資料處理：以 Microsoft Excel 2010 資料處理以及繪製趨勢線圖。

伍、研究結果

結果一：不同濃度的太白粉溶液掉落而產生氣泡的最低掉落高度之間的關係式。

一、濃度 2.5% 的太白粉溶液：

(一)高度 30 公分(20 公分，10 公分)：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管，共 200 次，都沒有產生氣泡。

(二)高度 40 公分：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管；每支吸管至少一次有氣泡。(詳見附錄一)

二、濃度 3.0% 的太白粉溶液：

(一)高度 50 公分(40 公分，30 公分，20 公分，10 公分)：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管，共 200 次，都沒有產生氣泡。

(二)高度 60 公分：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管；每支吸管至少一次有氣泡。(詳見附錄二)

三、濃度 3.5% 的太白粉溶液：

(一)高度 60 公分(50 公分，40 公分，30 公分，20 公分，10 公分)：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管，共 200 次，都沒有產生氣泡。

(二)高度 70 公分：

1.每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管；每支吸管至少一次有氣泡。(詳見附錄三)

四、濃度 4.0% 的太白粉溶液：

(一)高度 70 公分(60 公分，50 公分，40 公分，30 公分，20 公分，10 公分)：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管，共 200 次，都沒有產生氣泡。

(二)高度 80 公分：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管；每支吸管至少一次有氣泡。(詳見附錄四)

五、濃度 4.5% 的太白粉溶液：

(一)高度 110 公分(間隔 10 公分遞減，重複實驗)：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管，共 200 次，都沒有產生氣泡。

(二)高度 120 公分：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管；每支吸管至少一次有氣泡。(詳見附錄五)

六、濃度 5.0% 的太白粉溶液：

(一)高度 130 公分(間隔 10 公分遞減，重複實驗)：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管，共 200 次，都沒有產生氣泡。

(二)高度 140 公分：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管；每支吸管至少一次有氣泡。(詳見附錄六)

七、濃度 5.5% 的太白粉溶液：

(一)高度 200 公分(間隔 10 公分遞減，重複實驗)：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管，共 200 次，都沒有產生氣泡。

(二)高度 210 公分：

每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管；每支吸管至少一次有氣泡。(詳見附錄七)

八、不同濃度的太白粉溶液掉落而產生氣泡的最低掉落高度之間的關係式：

(一)結論：

太白粉溶液濃度(%)	最低掉落高度(公分)
2.5	40
3.0	60
3.5	70
4.0	80
4.5	120
5.0	140
5.5	210

表 1 不同濃度太白粉溶液掉落而產生氣泡的最低掉落高度

(二)趨勢線：

1.不同濃度太白粉溶液掉落而產生氣泡的最低掉落高度之間的指數趨勢線：

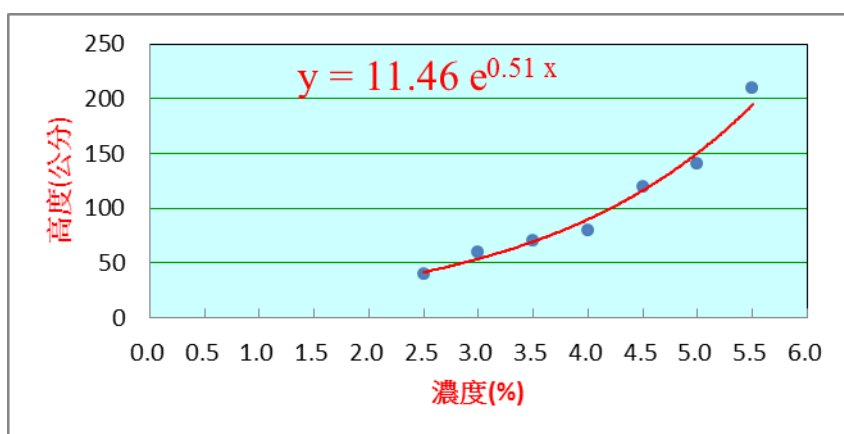


圖 5 不同濃度太白粉溶液掉落而產生氣泡的最低掉落高度之間的指數趨勢線， $R^2=0.98$

2.不同濃度太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度之間的乘冪趨勢線：

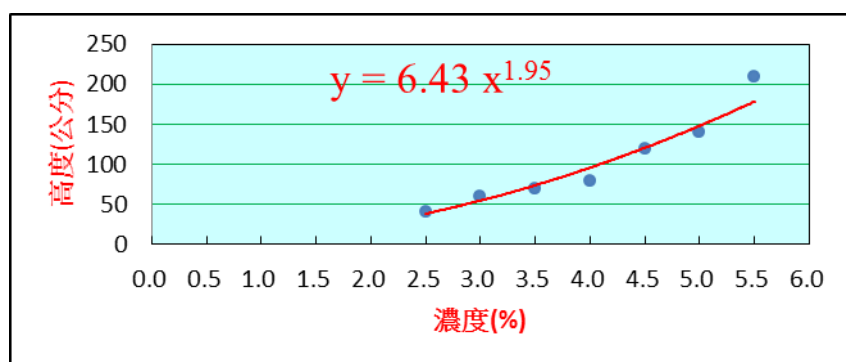


圖 6 不同濃度太白粉溶液掉落而產生氣泡的最低掉落高度之間的乘冪趨勢線， $R^2=0.96$

結果二：太白粉溶液的濃度與黏滯係數的關係式。

一、測定不同濃度的太白粉溶液的黏滯係數：

(一) 黏滯係數測定儀：裝置的各項數據如下

砝碼質量 $m=50(g)$ ；轉輪軸半徑 $R=3.405(cm)$ ；圓柱高 $h=11(cm)$ ；下落距離 $S=10(cm)$ ；

圓柱之半徑 $a=5.035(cm)$ ；外桶內半徑 $b=6.170(cm)$ 。

(二) 利用黏滯係數的計算公式： $\eta = \frac{mgR^2t}{4\pi hS} \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2} \right)$ ； g 為重力加速度。

二、太白粉溶液的濃度與黏滯係數的關係：

(一) 結論(詳見附錄八)

濃度(%)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
黏滯係數(泊)	0.49	0.54	0.65	0.79	1.37	2.95	7.98	17.10	22.94	45.44

表 2 不同濃度太白粉溶液對應的黏滯係數

(二) 黏滯係數與濃度的對數趨勢圖

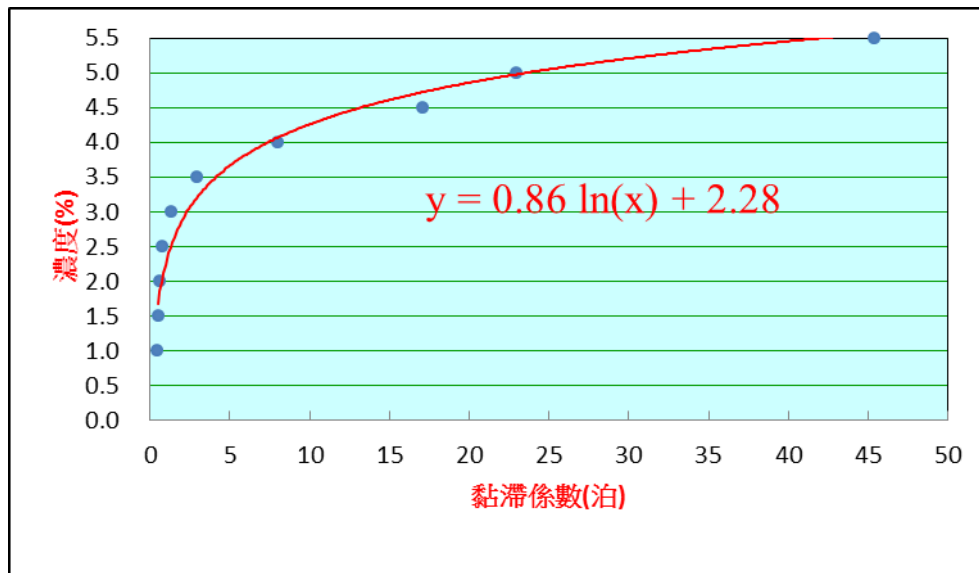


圖 7 黏滯係數與濃度的趨勢線， $R^2=0.95$

結果三：不同黏滯係數的太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度之間的關係式。

(一)結論

濃度(%)	太白粉溶液黏滯係數(泊)	最低掉落高度(公分)
2.5	0.79	40
3.0	1.37	60
3.5	2.95	70
4.0	7.98	80
4.5	17.10	120
5.0	22.94	140
5.5	45.44	210

表 3 不同濃度太白粉溶液對應的黏滯係數以及產生氣泡的最低掉落高度

(二)不同黏滯係數的太白粉溶液掉落而產生氣泡的最低掉落高度之間的趨勢線：

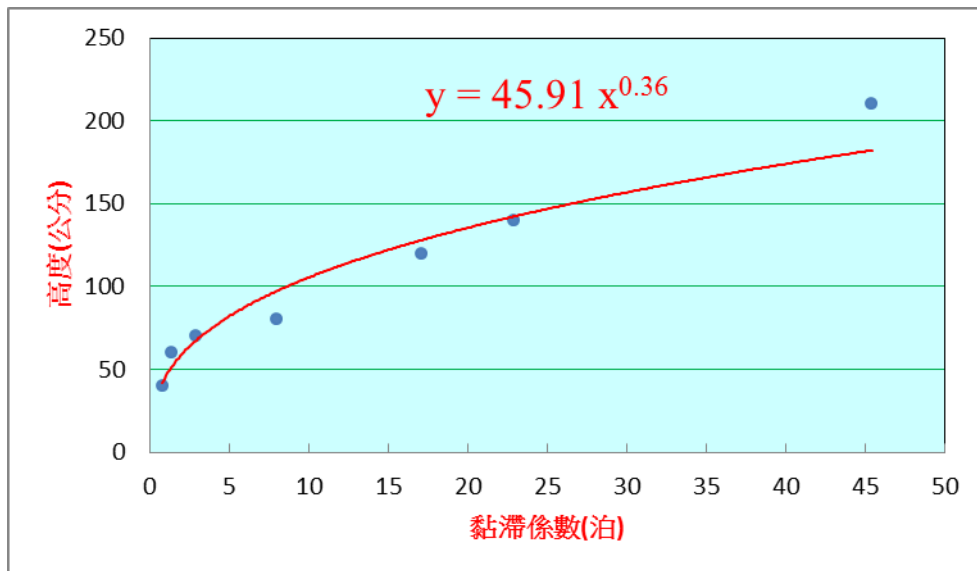
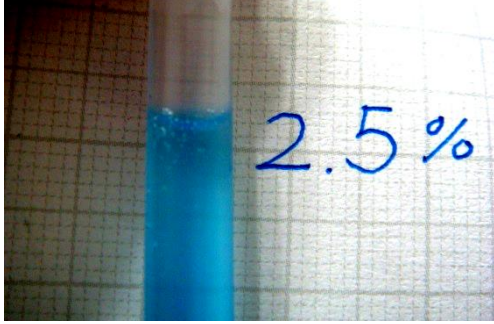

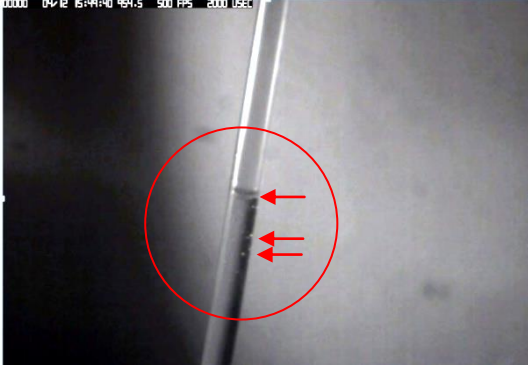


圖 8 不同黏滯係數太白粉溶液掉落而產生氣泡的最低掉落高度之間的趨勢線， $R^2=0.95$

結果四：不同濃度的太白粉溶液從最低掉落高度掉下之後產生的氣泡形式。

比較不同濃度 2.5%、3.0%、3.5%、4.0%、4.5%、5.0%、5.5%的太白粉溶液產生氣泡的形式：

氣泡	現象
位置	<p>大多靠近或靠著吸管管壁。</p>  <p>照片 1▲ 濃度 2.5%的太白粉溶液中的氣泡</p>
液面上下	<p>1.液面上的氣泡通常體積較大。(詳見照片 1)</p> <p>2.太白粉溶液濃度愈高，液面下的氣泡較接近液面。</p>  <p>照片 2▲ 濃度 3.0%的太白粉溶液中的氣泡</p>  <p>照片 3▲ 濃度 2.5%的太白粉溶液中的氣泡</p>
上升速度	濃度愈高，以更緩慢的速度上升。
迸裂	濃度愈高，較慢迸裂。

陸、討論

討論一：在實驗過程中，發現太白粉溶液濃度為 2.0% 以下時，有不一樣的表現，因此加以探討。

首先研究濃度為 2.0% 以下的太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度。

一、濃度 2.0% 的太白粉溶液：

(一)高度 10 公分：

1.每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管；每支吸管至少一次有氣泡。(詳見附錄九)

掉落高度 10 公分，濃度 2.0% 的太白粉溶液就會產生氣泡，所以不計入趨勢線的資料。

2.比較結果一、八的趨勢線：

(1)指數趨勢線為 $y = f(x) = 11.46e^{0.51x}$ ，以此推估 $f(2.0)=32.10$ 。

(2)乘冪趨勢線為 $y = g(x) = 6.43x^{1.95}$ ，以此推估 $g(2.0)=24.83$ 。

(3)由(1)(2)，乘冪趨勢線較接近實驗數據。

二、濃度 1.5% 的太白粉溶液：

(一)高度 10 公分：

1.每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管；每支吸管至少一次有氣泡。(詳見附錄十)

掉落高度 10 公分，濃度 1.5% 的太白粉溶液就會產生氣泡，所以不計入趨勢線的資料。

2.比較結果一、八的趨勢線：

(1)指數趨勢線為 $y = f(x) = 11.46e^{0.51x}$ ，以此推估 $f(1.5)=24.81$ 。

(2)乘冪趨勢線為 $y = g(x) = 6.43x^{1.95}$ ，以此推估 $g(1.5)=14.18$ 。

(3)由(1)(2)，乘冪趨勢線較接近實驗數據。

三、濃度 1.0% 的太白粉溶液：

(一)高度 10 公分：

1.每支吸管實驗掉落 20 次，實驗 10 支吸管；每支吸管至少一次有氣泡(詳見附錄十一)。
 掉落高度 10 公分，濃度 1.5%的太白粉溶液就會產生氣泡，所以不計入趨勢線的資料。

2.比較結果一、八的趨勢線：

(1)指數趨勢線為 $y = f(x) = 11.46e^{0.51x}$ ，以此推估 $f(1.0)=19.18$ 。

(2)乘冪趨勢線為 $y = g(x) = 6.43x^{1.95}$ ，以此推估 $g(1.0)=6.43$ 。

(3)由(1)(2)，乘冪趨勢線較接近實驗數據。

接著，比較所有實驗中不同濃度的太白粉溶液產生氣泡的形式：

氣 泡	現 象
位置	氣泡大多靠近或靠著吸管管壁。
液面上下	1. 太白粉溶液濃度愈高，氣泡大多在液面上。 2. 太白粉溶液濃度愈高，液面下的氣泡較接近液面。 3. 因為液面下的氣泡承受較大的壓力，所以液面上的氣泡一般比液面下的氣泡體積較大。
上升速度	太白粉溶液濃度愈高，以較緩慢的速度上升。
迸裂	太白粉溶液濃度愈高，氣泡迸裂的速度較緩慢。

表 4 不同濃度的太白粉溶液產生氣泡的形式

討論二：為了進一步探討在太白粉溶液濃度為 2.0%以下時，濃度與產生氣泡最低高度的乘冪趨勢線以及實驗數據為何有誤差，以高速攝影機拍攝吸管掉落的經過，得到以下的圖片。

一、2.0%的太白粉溶液吸管掉落經過(詳見附錄十二)：

將 2.0%的太白粉溶液第 19 張照片的放大如下，溶液濺起較高。



二、3.0%的太白粉溶液吸管掉落經過(詳見附錄十三)：

將 3.0%的太白粉溶液第 19 張照片的放大如下，溶液濺起較低。



三、照片說明：

因為 2.0% 的太白粉溶液濃度較稀，吸管與底面碰觸之後，溶液濺起較高，很容易形成氣泡，性質和水較接近。(以相同的方法做水的吸管的掉落實驗，同樣是高度 10 公分，水中就會有氣泡)

討論三：以高中物理說明氣泡形成的成因及形式。

一、氣泡的形式：

(一)液面下的氣泡

由於表面張力的關係，所以氣泡為球形。將氣泡假想分成半球，如下圖，

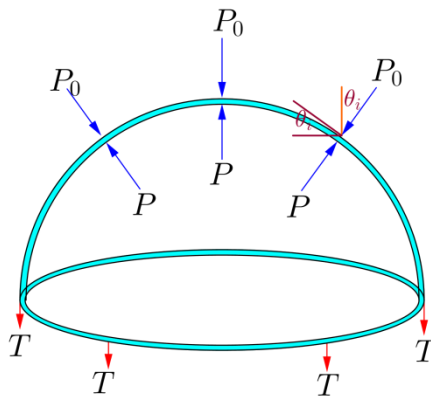


圖 9 氣泡圖

氣泡半徑為 R ，氣泡內氣壓為 P ，氣泡外壓力為 P_0 ，表面張力為 T ，

當氣泡為平衡狀態時，鉛直方向合力為 0，所以

$$\sum_i P dA_i \cos \theta_i = \sum_i P_0 dA_i \cos \theta_i + T \times (2\pi R) \dots\dots(1)$$

$$\text{化簡 } \sum_i P dA_i \cos \theta_i = P \sum_i dA_i \cos \theta_i = P \times (\pi R^2) \dots\dots(2)$$

$$\sum_i P_0 dA_i \cos \theta_i = P_0 \sum_i dA_i \cos \theta_i = P_0 \times (\pi R^2) \dots\dots(3)$$

$$\text{將(2)(3)代入(1)， } P \times (\pi R^2) = P_0 \times (\pi R^2) + 2\pi R T \text{，因此得壓力差 } \Delta P = P - P_0 = \frac{2T}{R} \dots\dots(4)$$

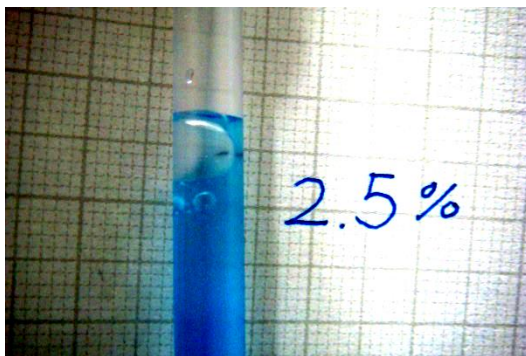
上式(4)稱為 Laplace 公式。

利用 Laplace 公式來說明氣泡的形成，氣泡的內外的氣壓差 ΔP 和半徑 R 成反比，換句話說越小的氣泡內的氣壓越大，實驗一中，太白粉溶液原本溶解一些氣體分子，聚集成極小的氣泡，在吸管掉落過程中，經過擾動，使得溶於太白粉溶液的其他氣體分子克服了極小氣泡內的氣壓，得以進入極小氣泡，因此極小氣泡才能變大至肉眼可辨識。

另一方面，吸管壁並不是完全光滑的，有一些凹洞，或是吸管壁殘留一些雜質，因此這一些凹洞或雜質就能促成氣泡形成。

(二)液面上的氣泡

液面上的氣泡除了有一些是從液面下上升而來的氣泡，一些是在吸管掉落過程中，被上升的太白粉溶液包覆而形成的。如下面一張拍得的照片。



照片 4▲ 濃度 2.5%的太白粉溶液液面附近的氣泡

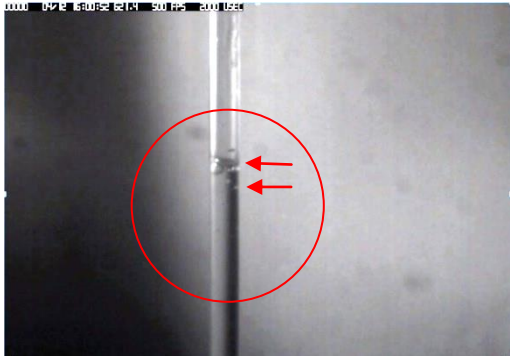
另一方面，當太白粉溶液濃度較低，黏滯係數較低，溶液分子的吸引力較低，在吸管掉落地面時溶液上升較高，相對的溶液落至液面時動能較高，所以能將氣泡帶到較深的地方。

二、當固定太白粉溶液濃度，掉落高度與形成氣泡的關係：

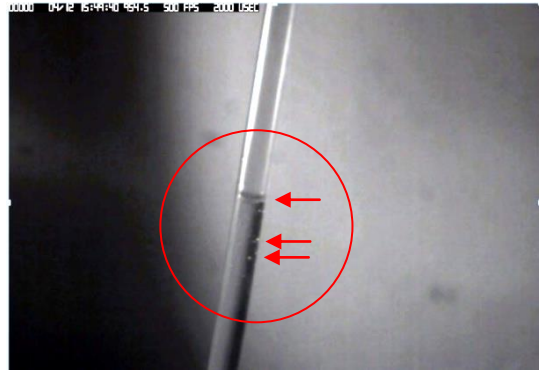
因為每支吸管掉落地時的動能正比吸管掉落高度，因此吸管掉落高度愈高，愈能形成氣泡。

三、當固定掉落高度，吸管中的液面下氣泡位置與濃度的關係：

距液面下等深度處，太白粉溶液濃度愈高，黏滯係數越高，溶液分子間的黏滯阻力越高，因此濃度愈高者，液面下的氣泡位置愈接近液面。



照片 5▲ 3.0%濃度的氣泡位置愈接近液面



照片 6▲ 2.5%濃度的氣泡位置離液面較深

四、當固定掉落高度，吸管中的液面下氣泡上升的速度：

因為黏滯阻力正比黏滯係數和接觸面積，所以距液面下等深處，溶液濃度越高黏滯阻力越大，且氣泡越大滯阻力越大，因此濃度愈高者，液面下的大氣泡上升的速度愈慢。

柒、結論

一、測得不同濃度的太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度。

濃度愈高的太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度愈高。

二、測得不同濃度的太白粉溶液的黏滯係數。

濃度愈高的太白粉溶液的黏滯係數愈高。

三、由實驗數據分析得到趨勢線：

(一)濃度與產生氣泡的最低掉落高度的較佳趨勢線為 $y = 6.43x^{1.95}$

(二)黏滯係數與濃度的趨勢線 $y = 0.86\ln(x) + 2.28$

(三)黏滯係數與最低掉落高度的趨勢線為 $y = 45.91x^{0.36}$

四、以高速攝影機拍攝，拍得不同濃度的太白粉溶液吸管掉落的過程，並對於氣泡的位置及

大小、氣泡位於液面上下、上升速度、迸裂速度加以比較。

五、以吸管掉落的過程中力學能的改變以及溶液的黏滯阻力和氣泡承受壓力的不同說明氣泡

形成的成因及形式。

捌、應用與展望

一、應用

(一)改良原子筆墨水：由實驗數據，濃度愈高的太白粉溶液產生氣泡的最低掉落高度愈

高；又高中 1 號課桌的高度為 76 公分，此課桌的高度比濃度 4% 的太白粉溶液掉落產生氣泡的最低掉落高度 80 公分還低，所以在原子筆墨水增加太白粉溶液的濃度，可以減少原子筆因為摔落造成筆芯產生氣泡。

(二)用於研究葉克膜管線中的血液與氣泡：葉克膜管線中如果有氣泡會使得流速下降，造成缺血的併發症；本作品研究了封入不同濃度太白粉溶液和空氣的吸管因為擾動產生氣泡的形式與原因，可作為醫療風險的控管參考。



照片 7▲ 葉克膜的氧合器 (參考資料七)

(三)粒子物理氣泡室的提升效果：粒子物理利用氣泡室來了解粒子的軌跡，氣泡室的原理就運用到液體中氣泡因為壓力變小而氣泡體積變大的原理，將一個充滿液體的容器，以活塞增加壓力，使得液體的沸點提高，再將液體加熱至接近沸點，穿越液體的 α 和 β 兩種粒子將撞擊到的原子離子化，且因高溫而產生細微的氣泡，此時拉開活塞降壓，氣泡就會逐漸變大而可辨識，因此留下基本粒子的運動軌跡。可以再研究注入不同液體到氣泡室中，實驗何種液體可以留下更清晰的粒子軌跡。



照片 8▲ 氣泡室 (參考資料八)

二、展望：

- (一)研究有相同黏滯係數的不同溶液，產生氣泡的最低掉落高度。
- (二)研究不同濃度、不同掉落高度產生的氣泡大小的定量分析。
- (三)研究不同黏滯係數、不同掉落高度產生的氣泡大小的定量分析。

玖、參考資料及其他

- 一、傅昭銘 陳義裕 (2011)。基礎物理 (二) B上。臺南市：南一書局。
- 二、傅昭銘 陳義裕 (2011)。基礎物理 (二) B下。臺南市：南一書局。
- 三、永原科學儀器有限公司。黏滯係數之測定 (滾筒式) 使用手冊。臺南市。
- 四、中央大學普通物理實驗講義。黏滯係數之測定。取自
<http://uep.phy.ncu.edu.tw/content/general-physics/expcourse/first-semester/coefficient/pdf3.pdf>
- 五、Halliday & Resnick & Walker (民國88)。Fundamentals of Physics 物理 (上) 第五版。
臺北市：全華圖書。
- 六、羅伯特·史崔特 等人 (2000)。基礎流體力學 (楊文昌，譯)。臺北市：五南圖書出版。
- 七、葉克膜的氧合器照片。<http://yufishfish.pixnet.net/blog/post/48113134>
- 八、氣泡室的照片。<http://pansci.asia/archives/107307>

拾、附錄

附錄一：濃度 2.5% 的太白粉溶液：

1. 高度 40 公分實驗數據：

次數 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2501	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2502	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2503	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
2504	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2505	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2506	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2507	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
2508	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2509	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2510	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0

*說明：”1”表示有氣泡；”0”表示沒有氣泡。

附錄二：濃度 3.0% 的太白粉溶液：

2. 高度 60 公分實驗數據：

次數 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
3002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1

3004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
3006	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
3007	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
3008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
3009	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
3010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0

*說明：”1”表示有氣泡；”0”表示沒有氣泡。

附錄三：濃度 3.5% 的太白粉溶液：

1. 高度 70 公分實驗數據：

次數 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3501	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3502	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3503	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
3504	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3505	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3506	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
3507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
3508	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
3509	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0

*說明：”1”表示有氣泡；”0”表示沒有氣泡。

附錄四：濃度 4.0% 的太白粉溶液：

1. 高度 80 公分實驗數據：

次數 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
4004	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
4006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4009	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0

*說明：”1”表示有氣泡；”0”表示沒有氣泡。

附錄五：濃度 4.5% 的太白粉溶液：

1. 高度 120 公分實驗數據：

次數 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4501	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4502	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4503	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
4504	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4505	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
4506	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4508	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4509	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0

*說明：”1”表示有氣泡；”0”表示沒有氣泡。

附錄六：濃度 5.0% 的太白粉溶液：

1. 高度 140 公分實驗數據：

次數 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
5004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
5005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
5009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
5010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

*說明：”1”表示有氣泡；”0”表示沒有氣泡。

附錄七：濃度 5.5% 的太白粉溶液：

1. 高度 210 公分實驗數據：

次數 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5501	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5502	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5503	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
5504	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5505	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5506	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
5507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5508	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5509	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

*說明：“1”表示有氣泡；“0”表示沒有氣泡。

附錄八：太白粉溶液的濃度與黏滯係數的關係式。

1. 濃度 1.0% 的太白粉溶液：

次數	1	2	3	4	5
時間(ms)	9.24	91.7	92.1	91.59	91.34

平均時間 = 91.38 ms

黏滯係數 = 0.49 泊 (P)

2. 濃度 1.5% 的太白粉溶液：

次數	1	2	3	4	5
時間(ms)	99.74	99.27	99.93	99.92	99.38

平均時間 = 99.65 ms

黏滯係數 = 0.54 泊 (P)

3. 濃度 2.0% 的太白粉溶液：

次數	1	2	3	4	5
時間(ms)	122.47	121.2	121.6	118.5	119.72

平均時間 = 121.50 ms

黏滯係數 = 0.65 泊 (P)

4. 濃度 2.5% 的太白粉溶液：

次數	1	2	3	4	5
時間(ms)	151.52	141.63	143.74	144.55	147.65

平均時間 = 145.82 ms

黏滯係數 = 0.79 泊 (P)

5. 濃度 3.0% 的太白粉溶液：

次數	1	2	3	4	5
時間(ms)	264.52	257.73	251.39	246.46	245.2

平均時間 = 253.60 ms

黏滯係數 = 1.37 泊 (P)

6. 濃度 3.5% 的太白粉溶液：

次數	1	2	3	4	5
時間(ms)	55.77	541.18	581.72	515.27	532.54

平均時間 = 544.30 ms

黏滯係數 = 2.95 泊 (P)

7. 濃度 4.% 的太白粉溶液：

次數	1	2	3	4	5
時間(ms)	1491.68	1491.48	142.88	1496.3	1483.42

平均時間 = 1473.10 ms

黏滯係數 = 7.98 泊 (P)

8. 濃度 4.5% 的太白粉溶液：

次數	1	2	3	4	5
時間(ms)	363.	3158.6	384.72	3283.77	3195.52

平均時間 = 3157.12 ms

黏滯係數 = 17.10 泊 (P)

9. 濃度 5.0% 的太白粉溶液：

次數	1	2	3	4	5
時間(ms)	4545.8	422.22	4214.77	417.32	4112.46

平均時間 = 4236.37 ms

黏滯係數 = 22.94 泊 (P)

10. 濃度 5.5% 的太白粉溶液：

次數	1	2	3	4	5
時間(ms)	845.12	8398.98	8384.68	8388.52	8372.5

平均時間 = 8389.87 ms

黏滯係數 = 45.44 泊 (P)

附錄九：濃度 2.0% 的太白粉溶液：

1. 高度 10 公分實驗數據：

次數 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2001	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2002	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2003	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2004	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2005	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2006	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2007	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2008	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2009	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2010	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*說明：(1)“1”表示有氣泡；“0”表示沒有氣泡。

(2) 掉落高度 10 公分，濃度 2.0% 的太白粉溶液就會產生氣泡，所以不計入趨勢線的資料。

附錄十：濃度 1.5% 的太白粉溶液：

1. 高度 10 公分實驗數據：

次數 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1501	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1502	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1503	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1504	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1505	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1506	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1507	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1508	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1509	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1510	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*說明：(1) ”1” 表示有氣泡； ”0” 表示沒有氣泡。

(2) 掉落高度 10 公分，濃度 1.5% 的太白粉溶液就會產生氣泡，所以不計入趨勢線的資料。

附錄十一：濃度 1.0% 的太白粉溶液：

1. 高度 10 公分實驗數據：

次數 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1002	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

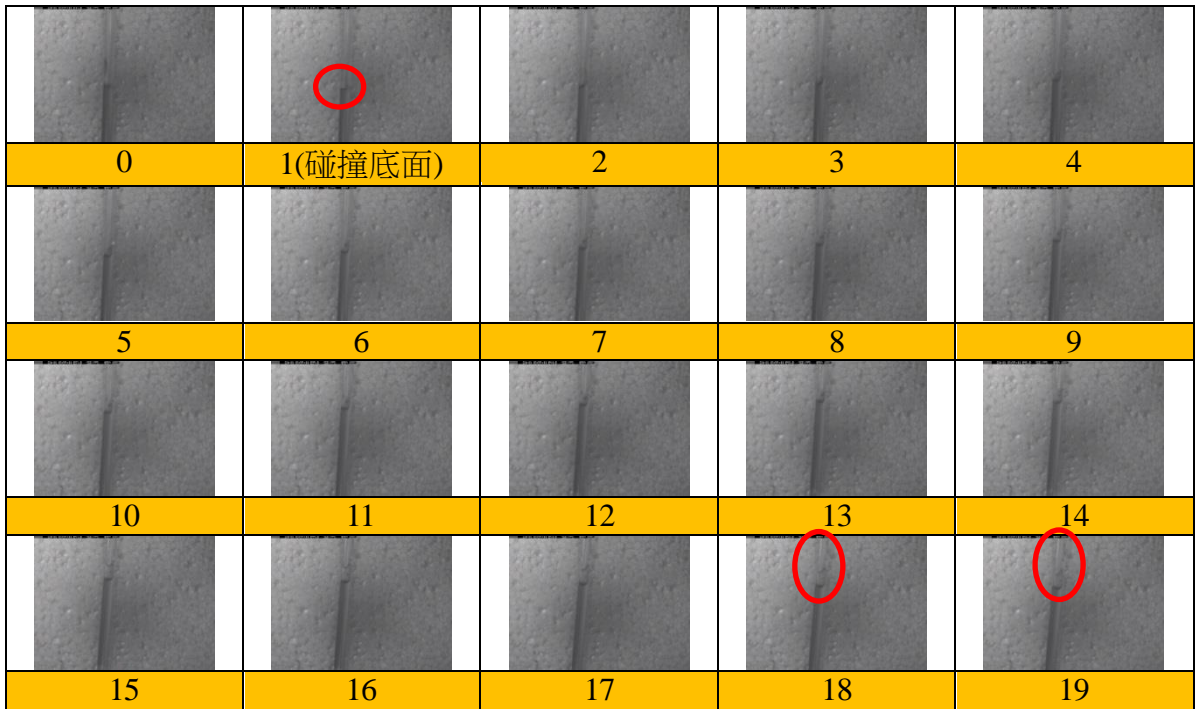
1003	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1004	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1005	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1006	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1007	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1008	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1009	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1010	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*說明：(1) ”1”表示有氣泡；”0”表示沒有氣泡。

(2) 掉落高度 10 公分，濃度 1.0% 的太白粉溶液就會產生氣泡，所以不計入趨勢線的資料。

附錄十二：

2.0%的太白粉溶液吸管掉落經過：



附錄十三：

3.0%的太白粉溶液吸管掉落經過：

