

# 中華民國第 41 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：物理組

組 別：國中組

作品名稱：反泡泡最佳穩定產生之研究

關 鍵 詞：反泡泡、蠕動泵、界面活性劑

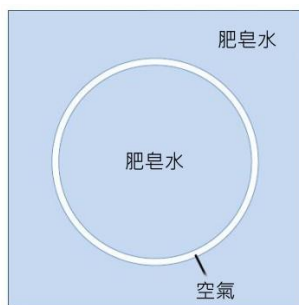
編 號：

## 摘要

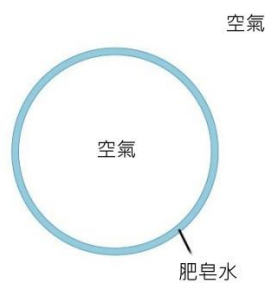
反泡泡是由空氣包裹液體的泡泡，存在於液體之中，形成結構與泡泡完全相反。製作方式雖然有許多種，卻都是由人為手動製造，沒辦法穩定的產出，因此這也讓我們想探究如何穩定生產反泡泡。為了能夠穩定出水及溶液流速，我們自製了蠕動泵，由步進馬達及自製的蠕動泵組成幫助研究。從研究結果可以得知，溶液的濃度、滴頭到液面的高度、滴頭切面角度皆會影響到形成反泡泡的成功率。後來嘗試製作大量產生，利用水管連接多個管子及多孔分流器，不過並未成功。當重量比例為水：界面活性劑：甘油=100：0.5：1，高度為 5.2 公分，滴頭切面角為 30°時，最能夠讓我們自製的馬達（轉速固定 d500）穩定且成功率最高的產生反泡泡。

## 壹、研究動機

反泡泡的長相與一般泡泡相似，但是一般泡泡是由具有界面活性劑的液體包覆著氣體所產生的，而反泡泡則是與其構造相反，是由空氣層包覆著水滴，產生方式為，將水與界面活性劑混和後，以一點一滴的方式，滴入水中，與一般氣泡不同的是，它可在水中存活一段時間。曾經在課堂上，聽到老師介紹關於反泡泡的結構及形成，並且實作過，因為覺得有趣，於是嘗試在家裡製作，可是發現成功形成的並不多，後來也上網查詢資料，看過各科展的製作過程，可當自己製作時，卻還是沒辦法穩定的製作出，推測可能還是有一些沒考慮到的影響成功因素在內，這也讓我們對反泡泡起了興趣，想要更進一步探討如何穩定的製作反泡泡。

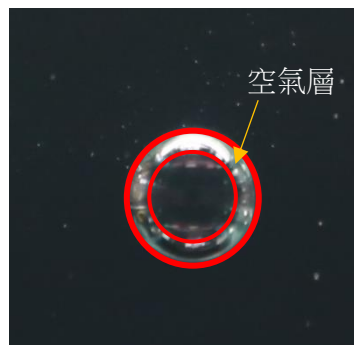


反轉的肥皂泡

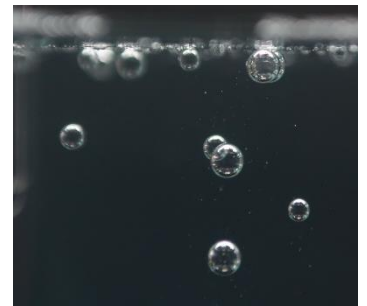


一般的肥皂泡

圖一



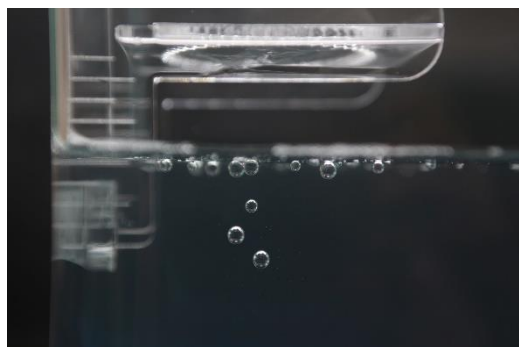
圖二



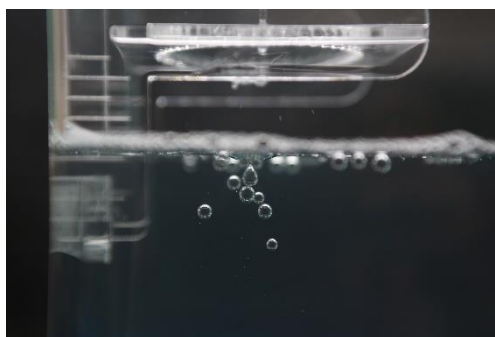
圖三

## 貳、研究目的

常見的反泡泡產生方式為，將混和界面活性劑和水的水溶液，用滴管、吸管、擠壓瓶等器具，滴入水溶液中，在液滴滴入水溶液的瞬間，連帶空氣一起進入水溶液中，形成一個由空氣層包覆著液滴的反泡泡。而反泡泡形成的影響因素可分為兩類：溶液的性質及液滴的物理性質。溶液的性質有兩個變因，一個是甘油，一個是界面活性劑。我們利用調整濃度比例來計算成功率，找出最佳的濃度比例。而液滴的物理條件，主要為探討液滴對液面的衝擊力，影響原因有液滴的流速，液滴出口的高度及角度。追求穩定產生反泡泡的同時，我們也希望能大量產生，於是讓管子連接多孔分流器，希望能達到目的。



圖四



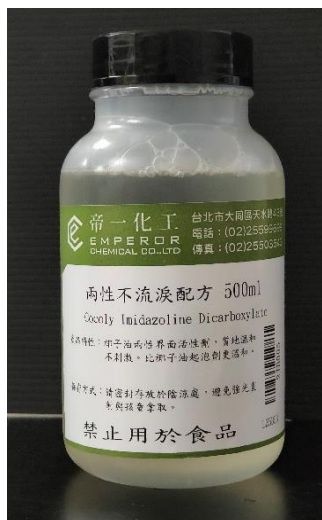
圖五

## 參、研究設備及器材

打火機



兩性不流淚界面活性劑



甘油



電子秤



液膜



魚缸



相機



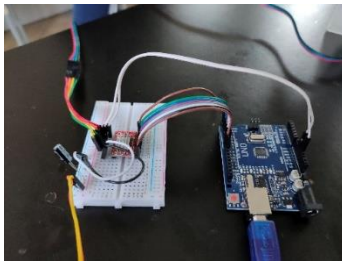
餵食器



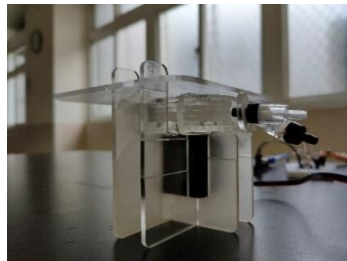
PE 細水管(外徑 0.6、內徑 0.4)



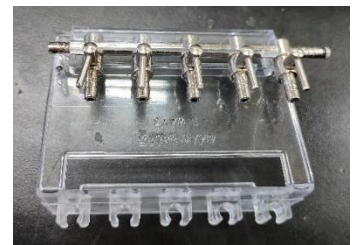
Arduino 和控制板



馬達



多孔分流器



改良版液膜：與原液膜的差異在  
可固定於魚缸周圍



燒杯



架子



Tracker



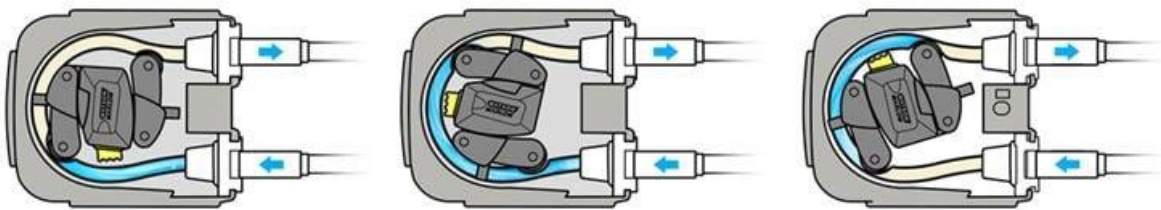
Arduino



## 肆、研究過程與方法

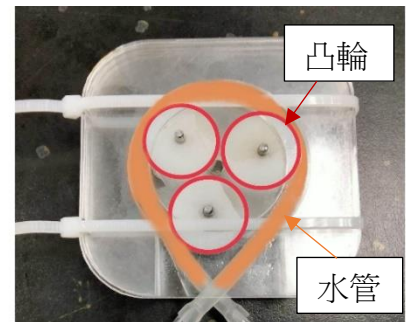
### 一、馬達的原理及程式

(一) 馬達的組成分為步進馬達及自製的蠕動泵，我們自製的蠕動泵是模仿了蠕動泵的結構，利用外殼固定水管的位置，再利用連接 Arduino 控制板的步進馬達轉動帶動三個凸輪旋轉，進而擠壓水管，讓他可以達成一吸一吐，並且穩定出水。



圖六

圖七為我們自製的蠕動泵，有三個凸輪（紅色圓圈圈起），藉由馬達轉動，來擠壓水管（橘色部分）。



圖七

### (二) Arduino 程式意義

步進馬達是用電磁鐵，切換磁極，使其轉動。我們使用的馬達，為 3200 步為一圈。

1. 轉速  $d$  ( delay Microseconds)：代表步進馬達每轉一步停下的時間，單位為微秒
2. 轉向  $x$ ：步進馬達的轉動方向，設  $x0$  逆時針， $x1$  順時針
3. 轉動大小  $b$ ：每步轉動的大小， $b1$  為每一次轉動一步， $b16$  則為每一次轉動  $1/16$  步，共有  $b1$ ， $b2$ ， $b4$ ， $b8$ ， $b16$ ，五種類型。我們採用  $b16$ ，步進馬達轉動一圈 3200 步
4. 轉動步數  $z$ ：控制馬達轉動的步數

## 二、實驗中反泡泡成功定義

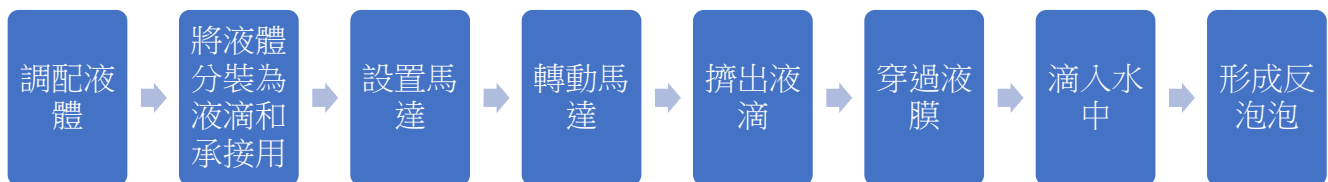
- (一) 肉眼可見的空氣層，可與氣泡從外觀上分別。
- (二) 運動軌跡從下沉到上升。
- (三) 直徑至少為 0.25 公分，可從改良版液膜旁的刻度比對。
- (四) 圖八中，紅色圓圈為成功反泡泡大小，由圖八可以看出，較底下的為成功反泡泡，另一顆則未成功。



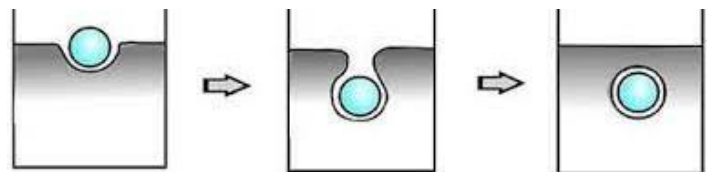
圖八

## 三、製作反泡泡過程

調配溶液，由界面活性劑、水、甘油組成，攪拌均勻。一部分倒入餵食器，讓馬達抽水，擠出液滴。另一部份倒入燒杯或魚缸做承接反泡泡，最後一部份用來產生液膜（肥皂膜）。將液膜泡入液體，形成肥皂膜，架在燒杯或魚缸上，讓液滴能穿過液膜再落入液體中。透過調整馬達的轉速  $d$ 、轉向  $x$ 、轉動大小  $b$  和轉動步數  $z$ ，讓馬達轉動，擠壓水管，擠出液滴，液滴穿過液膜，滴入溶液中，形成反泡泡。



圖九



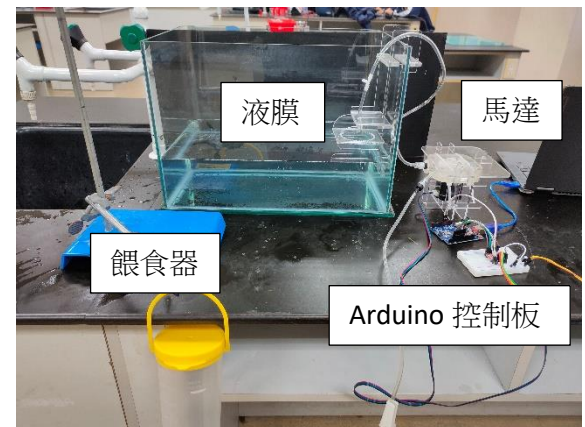
圖十

## 四、液膜的需要性

反泡泡的結構是空氣層包覆著水滴，存活在液體中。因此我們使用液膜讓液滴在穿過液膜後，提前讓空氣層包覆著液滴，形成反泡泡，再落入水中。

## 五、實驗器材架設

最左側為餵食器，由水管連接到馬達的一側水管，經過擠壓後流出，穿過改良液膜最後落入魚缸中，生成反泡泡。



圖十一

## 六、研究過程

實驗一：馬達每次轉動流出質量是否穩定

步驟：1.將水倒入餵食器

2.轉動馬達五圈（z16000）轉速固定為 d500，攝影，秤量重量，重複三次

3.將影片慢速播放計算水滴數量

實驗二：馬達轉速對液滴流速的關係

步驟：1.調整馬達轉速分別為 d300、d400、d500、d600、d700

2.將水倒入餵食器

3.轉動馬達，並拍攝液滴滴下的過程

4.調整轉速，到下一組並繼續記錄直到 d700

5.利用 Tracker 分析液滴每 0.033 秒的垂直移動軌跡

6.計算液滴流速

實驗三：界面活性劑濃度對反泡泡成功率的影响

步驟：1.調配溶液油水和界面活性劑組成，重量百分濃度為約 0.5%、0.9%、2.9%、4.8%、6.5%（水：界面活性劑=100：0.5、100：1、100：3、100：5、100：7（公克））

1-1.控制因素：低頭到液面的高度為 6 公分

2.轉動馬達五圈（z16000）轉速固定為 d500，攝影，每個濃度重複三次



3.將影片慢速播放計算成功數量

4.平均，計算成功率

#### 實驗四：甘油濃度對反泡泡成功率的影響

步驟：1.調配溶液由水、界面活性劑和甘油組成，重量百分濃度約為 0%、1%、2.9%、4.7%、6.5%（水：界面活性劑：甘油=100：0.5：0、100：0.5：1、100：0.5：3、100：0.5：5、100：0.5：7（公克））

2.轉動馬達五圈（z16000）轉速固定為 d500，攝影，每個濃度重複三次

3.將影片慢速播放計算成功數量

4.平均，計算成功率

#### 實驗五：液滴低落高度對反泡泡成功率的影響

步驟：1.調整滴頭出水口的高度距離液面 4.7、9.7、14.5、19.7、24.7 公分

2.轉動馬達五圈（z16000）轉速固定為 d500，攝影，每個高度重複三次

3.將影片慢速播放計算成功數量

4.平均，計算成功率

#### 實驗六：滴頭切面角度對成功率的影響

步驟：1.將滴頭從原本的 90 度切割成 60、30、15 度

2.轉動馬達五圈（z16000）轉速固定為 d500，攝影，每個滴頭角度重複三次

3.將影片慢速播放計算成功數量

4.平均，計算成功率

#### 實驗七：多個滴頭對成功率的影響

步驟：1.將原本的出水口接上其他水管分流

2.轉動馬達五圈（z16000）轉速固定為 d500，攝影，每個重複三次

3.將影片慢速播放計算成功數量

4.平均，計算成功率

## 伍、研究結果及討論

### 實驗一：馬達每次轉動流出質量是否穩定

次數	測得質量（公克）	滴數	每滴平均質量（公克）
1	2.56	61	0.042
2	2.52	60	0.042
3	2.51	60	0.042
4	2.47	59	0.042
5	2.5	60	0.042

表一

1. 原本的液體為界面活性劑、甘油和水，為了和之後的實驗相似，但會因為沒攪拌均勻導致密度不均，質量也會有差異，因此改換為水做液體。
2. 原本步進馬達轉動的步數是定為 20000 步，但因為不是整數圈，水管開頭擠壓的位置不相同，滴出的滴數也會不同，平均質量也會不盡相同，因此後來改為轉動步數 16000 步（也就是馬達轉動 5 圈）。
3. 從實驗結果可以看出，滴數雖然還是有些微差異，質量也有些不同，推測可能是因為，擠壓水管時，多滴了一至二滴，不過在平均後，每一滴的質量是大約相同的。

### 實驗二：馬達轉速對液滴流速的關係

速度/距離/時間(秒)	0.0000 秒	0.0333 秒	0.0667 秒	0.1000 秒
d300	0	564.0975	1722.731	2596.598
d400	0	690.0007	1674.274	2659.591
d500	0	861.0585	1765.785	2175.326
d600	0	1282.913	1919.248	2346.464
d700	0	695.2717	1684.696	2457.152

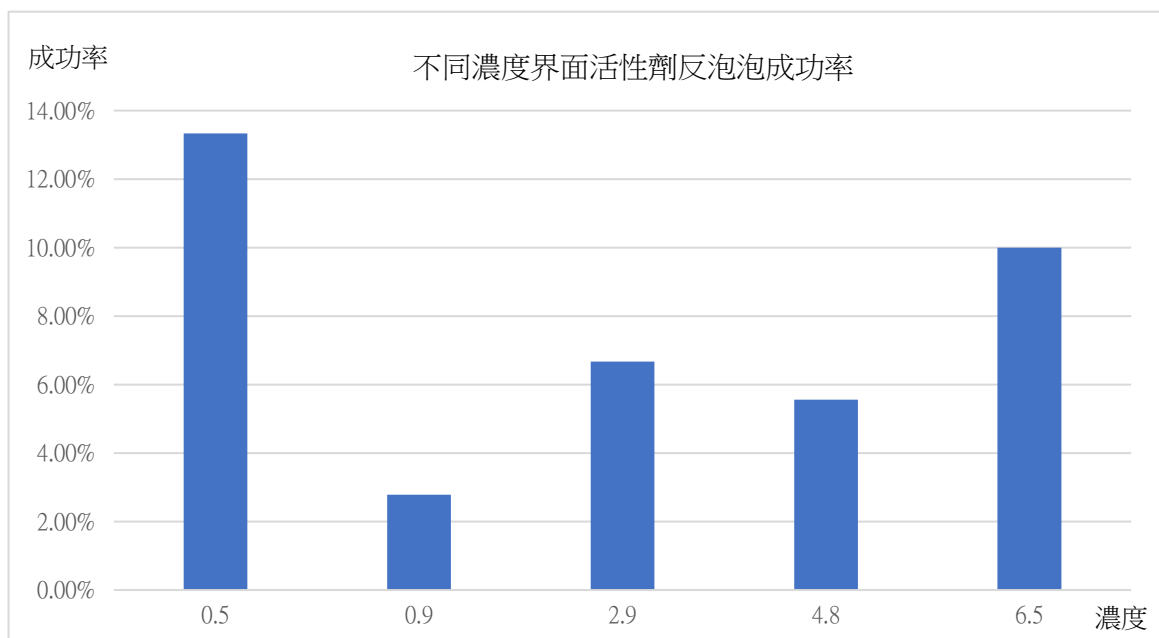
表二

1. 影片的拍攝格設定為 30FPS，每秒被分割為 30 張照片，所以每一幀的時間為三十分之一秒。
2. 表格中的數據是在 Tracker 中液滴的 y 座標以像素換算的位置。
3. d 因為是設的參數，沒有標準的速率單位。
4. 每組開頭有落差是因為時間分的不夠細，無法準確地找出液滴最一開始落下的瞬間。d600 的最初落的落下瞬間無法在影片中找到，而只能用最接近的 1282.913，與其他位置有落差。
5. 每組的最後能找的落座標大概皆為 2000 多，因此馬達的轉速對液滴的流速沒有太大影響。
6. 因為流速基本上是沒有太大的差別，所以我們選擇用 d500，以免轉太快，馬達無法負荷。

### 實驗三：界面活性劑濃度對反泡泡成功率的影響

次數/濃度 (%)	0.5%	0.9%	2.9%	4.8%	6.5%
1	11	3	4	2	5
2	8	2	3	4	6
3	5	0	5	4	7
成功總和	24	5	12	10	18
成功率	13.33%	2.78%	6.67%	5.56%	10.00%

表三



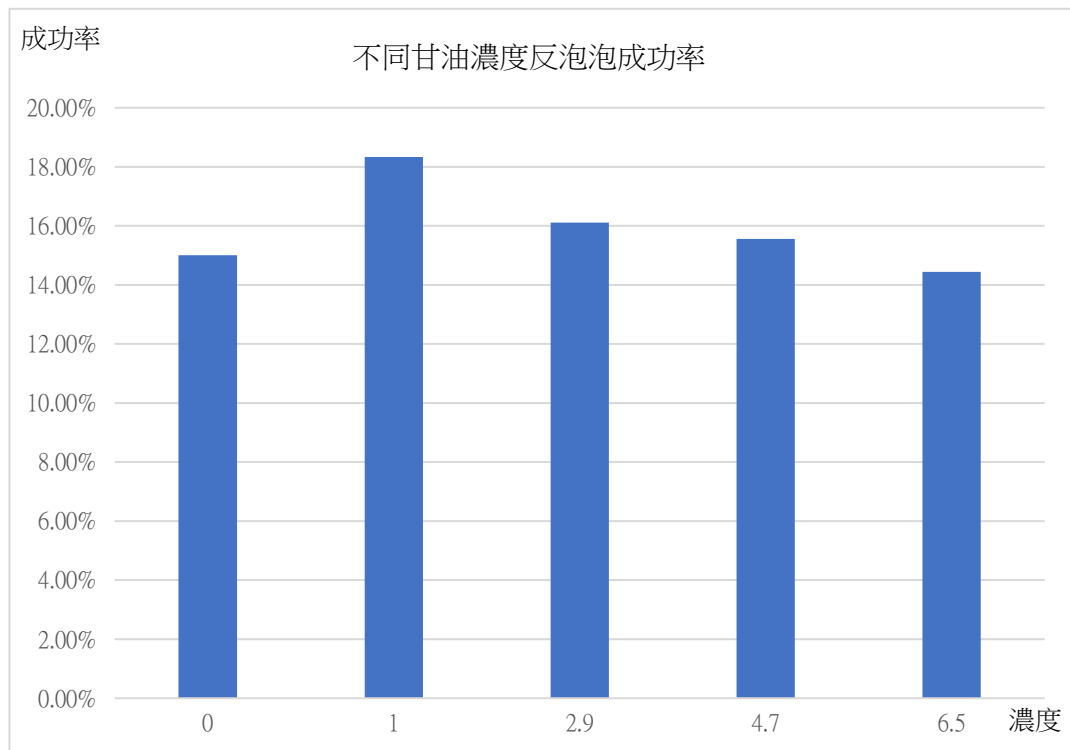
圖十二

1. 因為實驗的高度是參考其他成功製作反泡泡的文獻的，還未實際做實驗測量，因此成功率偏低。
2. 由圖十二中可以得知濃度水：界面活性劑為 100：0.5 時，成功率高於其他濃度很多，因此後續採用此濃度研究。
3. 在圖十二中可以看到 成功率在濃度 0.5%後為下降，猜測是因為液膜的濃度變高，造成液滴較難穿過。

#### 實驗四：甘油濃度對反泡泡成功率的影響

次數/濃度 (%)	0%	1%	2.9%	4.7%	6.5%
1	8	15	15	12	6
2	6	9	9	11	10
3	13	9	5	5	10
總和	27	33	29	28	26
成功率	15.00%	18.33%	16.11%	15.56%	14.44%

表四



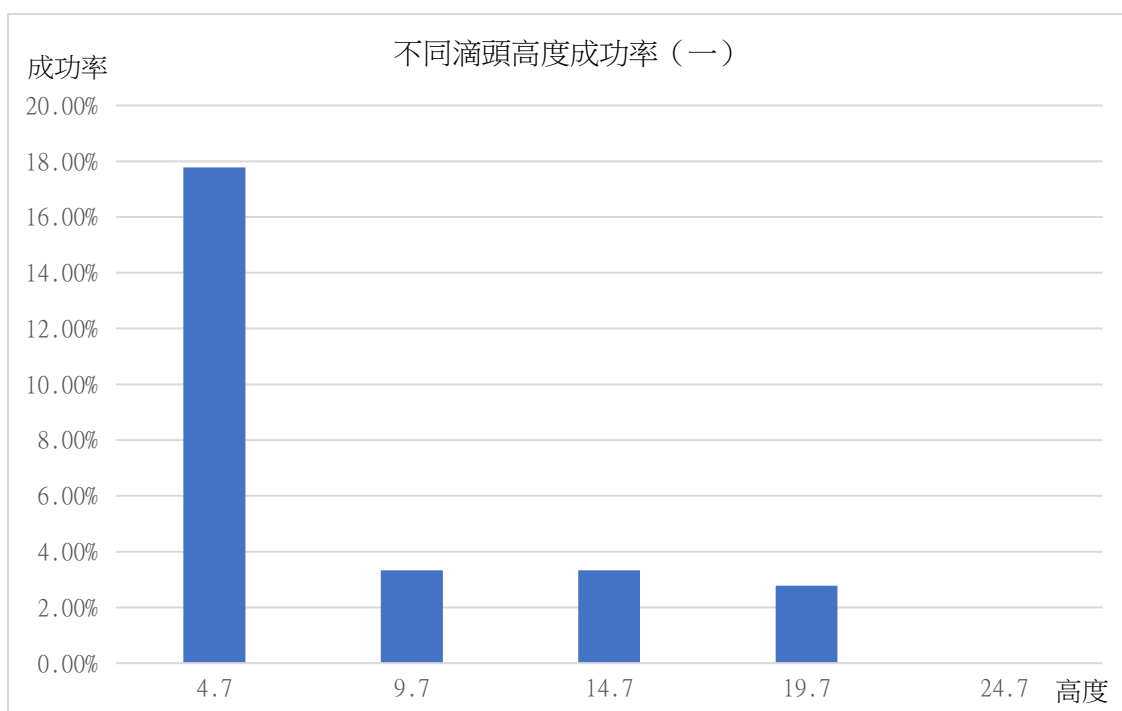
圖十三

1. 因為實驗的高度是參考其他成功製作反泡泡的文獻的，還未實際做實驗測量，因此成功率偏低。
2. 由圖十三中可以看出，濃度水：界面活性劑：甘油為 100：0.5：1 時，成功率最高，接下來成功率逐漸下降，因此後續實驗採用此數據進行研究。
3. 加了甘油後的成功率相較於上個實驗沒加甘油的成功率來的高，是因為甘油讓反泡泡更容易形成空氣層，再加上可以增加液膜的存活時間。

實驗五：液滴低落高度對反泡泡成功率的影響

次數/高度 (公分)	4.7	9.7	14.7	19.7	24.7
1	11	3	1	0	0
2	13	2	3	2	0
3	8	1	2	3	0
總和	32	6	6	5	0
成功率	17.78%	3.33%	3.33%	2.78%	0.00%

表五



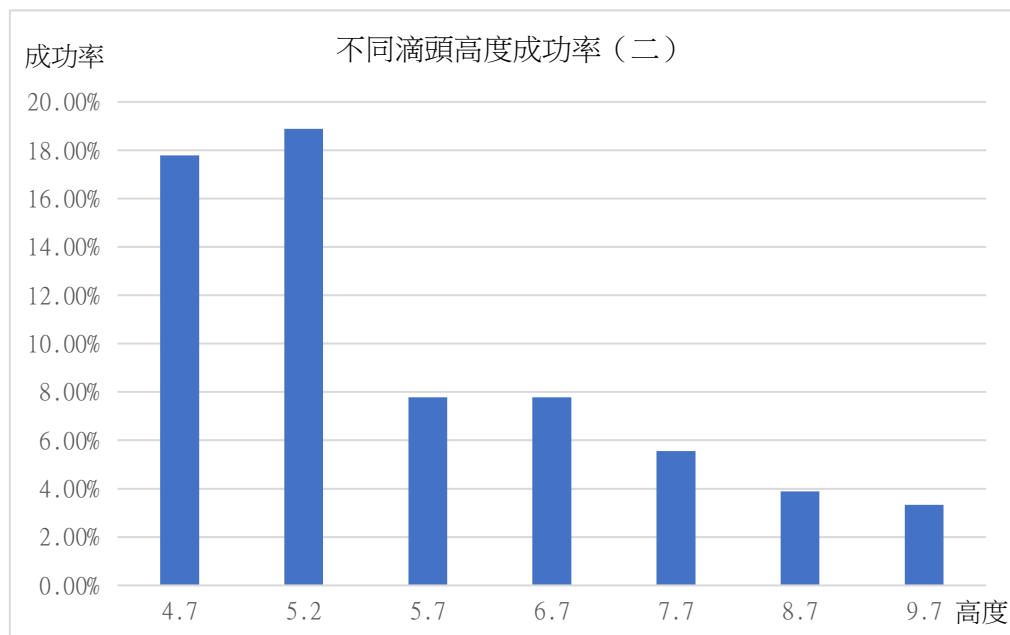
圖十四

1. 我們一開始先找到可成功的最低高度 4.7 公分，是液滴從出水口流出時，有足夠的衝擊力道能穿過液膜，而不是在液膜上停留、融入液膜。後來再找到架子的最高高度 24.7 公分。
2. 從成功率來看成功率是隨著出水口的高度上升而下降，是因為高度越高，液滴的衝擊力會越大，可能會直接把液膜戳破。像是高度 24.7 公分的成功率為零，就是因為滴了幾滴後，液膜直接被戳破。

3. 在高度 4.7 公分到 9.7 公分間成功顆數相差了 26 顆，因此我們又從中拆出了幾組：

次數/高度 (公分)	4.7	5.2	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7
1	11	7	6	8	2	2	3
2	13	11	3	3	3	4	2
3	8	16	5	3	5	1	1
總和	32	34	14	14	10	7	6
成功率	17.78%	18.89%	7.78%	7.78%	5.56%	3.89%	3.33%

表六



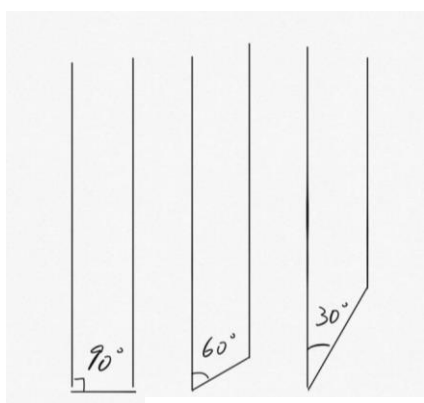
圖十五

4. 我們先從成功率最高的 4.7 公分和 5.2 公分中分成 5 組，不過成功率最高的 4.7 公分和 5.7 公分的成功數量還是差的 18 顆，因此還是在分割了一組 5.2 公分，成功率高於原本的 4.7 公分，因此我們之後的實驗的出水口高度皆採用 5.2 公分。但由於刻度過小，所以不再進行分割。

實驗六：滴頭切面角度對成功率的影响

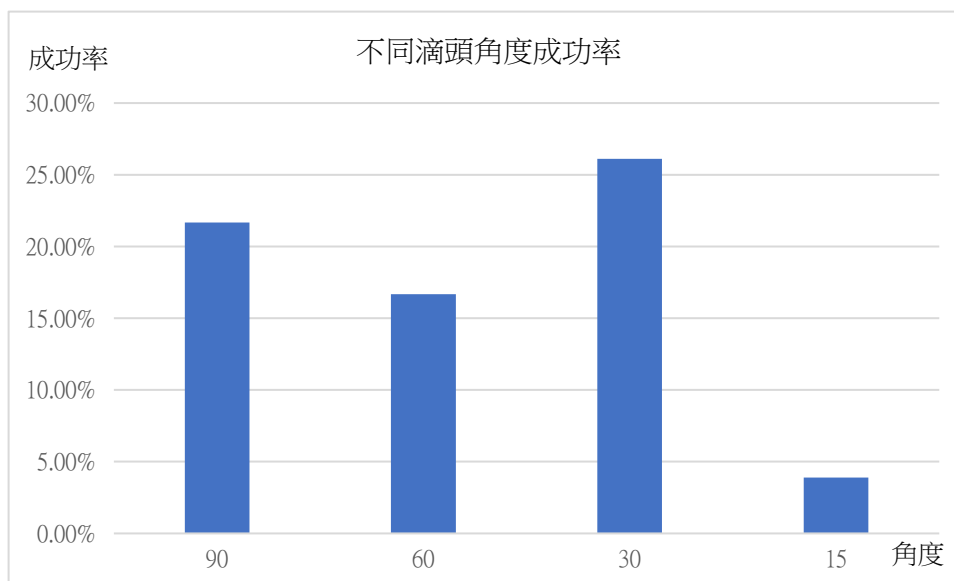
次數/角度	90°	60°	30°	15°
1	18	7	15	0
2	10	12	14	7
3	11	11	18	0
總和	39	30	47	7
成功率	21.67%	16.67%	26.11%	3.89%

表七



圖十六

滴頭角度定義：如圖十六所示，原本的滴頭角度為 90 度，而切掉一角後，剩下的度數即為滴頭角度。



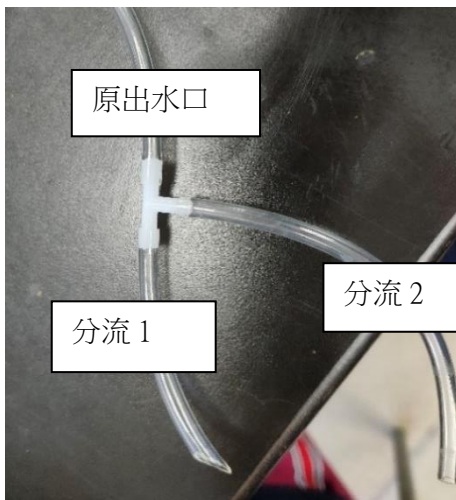
圖十七



- 1.原先採取的數據為角度  $90^\circ$ 、 $60^\circ$  及  $30^\circ$ ，由圖十七中可以看出，角度為  $30^\circ$  時的成功率最高，因此在往下切割角度  $15^\circ$ 。
- 2.從數據及圖十七中可以看出，角度為  $15^\circ$  時的成功率並沒有高於角度為  $30^\circ$  的，因此角度  $30^\circ$  採納為最佳角度。

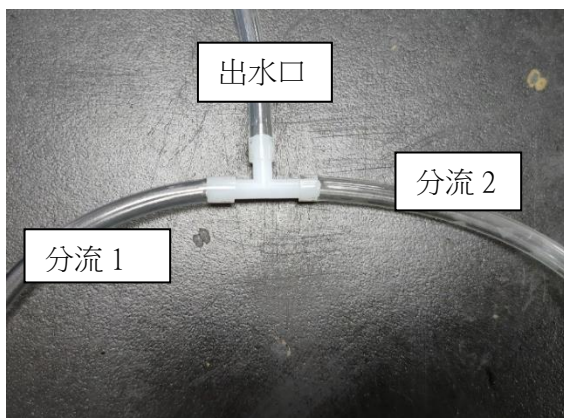
#### 實驗七：多個滴頭對成功率的影響

- 1.原先我們設計的第一組水管轉接為從原本的出水口再多做一條分流。不過水流無法從分流流出，所以也無法同時從兩管流出，只能從分流 1 流出，因此失敗。



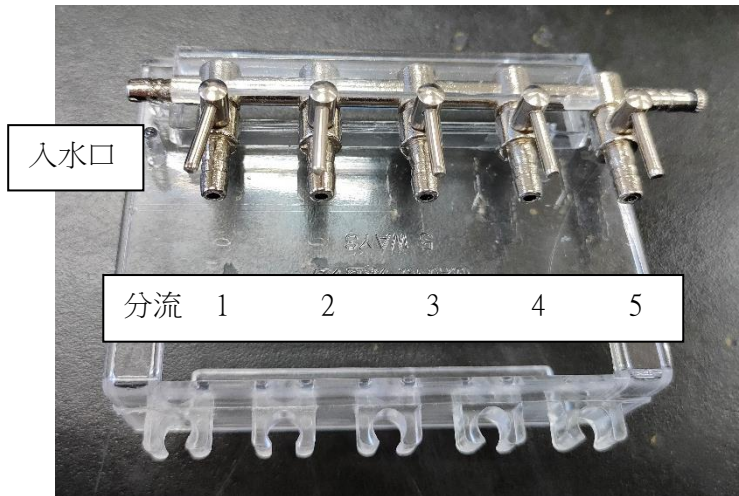
圖十八

- 2.我們設計的第二組改成兩分流水管高度一樣，不過水還是只會流向其中一端。因此我們將兩管都灌滿水，再啟動馬達。不過當馬達啟動後，其中一端水管的水會直接被抽走，也只能一次流其中一條分流，無法達到多滴頭的效果，因此失敗。



圖十九

3.我們設計的第三組是由多孔分流器連接水管，希望能更精準的製作出多滴頭，不過情形還是和第二組一樣，其中一端水管的水會直接被抽走，也只能一次流其中一條分流，無法達到多滴頭的效果，因此失敗。



圖二十

4. 經過以上三組多滴頭的實驗皆無法同時讓兩個滴頭同時流出，我們猜測可能是因為每次馬達供給的水不夠多，如果馬達的水流量上升，則無法達到一滴一滴流出的效果。

## 陸、結論

在這個研究當中，我們嘗試尋找各個可能影響到反泡泡成功形成的因素。其中，溶液濃度和滴頭到液面的高度為最主要的因素，後來發現在溶液加入甘油後，也會影響到成功率，推測可能是因為少量甘油能讓反泡泡更容易形成空氣層，再加上可以增加液膜的存活時間，過多甘油反而會讓液滴無法穿過液膜，降低了成功率。而大多數文獻當中有提到，水管的角度是會影響到反泡泡成功率的，不過因為設備是用馬達抽水，再加上不便調整水管位置等緣故，因此我們採用另一種方式呈現。透過改變滴頭角度，達成液滴流動狀態的改變。

由研究可以發現我們測得的最佳濃度為水：界面活性劑=100：0.5，成功率達到 13.33 %。後來加入甘油，測得最佳濃度為水：界面活性劑：甘油=100：0.5：1，成功率達到 18.33 %。高度為 5.2 公分時，成功率最高，達到 18.89%。而我們最後測得的最佳滴頭切面角度為 30°，成功率更是達到 26.11%。由上述研究結果可以得知，成功率隨著各項因素的調整而呈現上升趨勢，確認了這些因素確實影響了反泡泡形成的成功率，而我們找到當濃度為水：界面活性劑：甘油=100：0.5：1，高度為 5.2 公分，滴頭切面角為 30°時，最能夠讓我們自製的馬達（轉速固定 d500）穩定且成功率最高的產生反泡泡。

## 柒、參考資料及其他

[http://uwm.edu.pl/wnt/technicalsc/tech\\_23\\_1/Bai-L\\_i-in.pdf](http://uwm.edu.pl/wnt/technicalsc/tech_23_1/Bai-L_i-in.pdf)

Formation and rupture of gas film of antibubble

<http://www.taichi-maker.com/homepage/reference-index/motor-reference-index/arduino-a4988-nema-stepper-motor/#circuit2>

A4988 驅動 NEMA 步進電機(42 步進電機) - 太極創客

[https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/15th/doc/SA15-482\\_final.pdf](https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/15th/doc/SA15-482_final.pdf)

「彈」花一現，「膜」力再現

[https://www.orientalmotor.com.tw/image/web\\_seminar/stkiso/20130307\\_stkiso\\_seminar.pdf](https://www.orientalmotor.com.tw/image/web_seminar/stkiso/20130307_stkiso_seminar.pdf)

步進馬達基礎認識

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927775706003414>

Antibubbles: Factors that affect their stability

<https://patents.google.com/patent/US20160016139>

跟反泡泡相關的專利書