

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

佳作

040106

管狀泡膜之研究

學校名稱： 國立新莊高級中學

作者：	指導老師：
高二 薛宇捷	吳原旭
高二 呂俊漢	張永昌
高二 陳健安	
高二 陳勝崎	

關 鍵 詞：泡泡、表面張力、拉普拉斯公式

管狀泡膜之研究

壹、摘要：

本研究，從如何吹出又長又持久的管狀泡膜開始，設計一套可以穩定控制吹氣的裝置，以兩段式吹氣的方式易吹出管狀泡膜，分析其生成過程、外形，發現穩定的矛頭(管狀泡膜前端)有一特定的形狀。以 Laplace 公式算出各位置的壓力，由連續方程式算出通過各位置之空氣流速，並探討兩者之間的關係。由吹出管狀泡膜的臨界條件算出清潔劑溶液的表面張力為 0.018 N/m 。另外，在拉環實驗之中發現，管狀泡膜可以穩定的存在。

貳、研究動機：

在一次吹泡泡的過程中，發現球形泡泡離開吹管後，有一條管狀的泡膜跟著被吹出來，曇花一現的管狀泡膜引起了我們的興趣，查閱流體力學相關資料後，自行設計了一個可以控制的裝置，用不同的變因進行觀察與分析，探討管狀泡膜的性質。

參、研究目的：

- 一、尋找吹出管狀泡泡的要素。
- 二、研究管狀泡膜的形狀，及造成此形狀的原因。
- 三、研究管狀泡膜的生成與破滅的原因、過程。
- 四、從吹出管狀泡膜的臨界條件分析表面張力。

肆、研究器材與裝置：

器材	規格	數量
清潔劑	Palmolive	1 瓶
甘油	一般	1 瓶
DV 錄影機	SONY DTR-CRV-60	1 部
數位相機	SONY 717	1 部
電子天平	ADVENTURER 310g 精密度 0.001g	1 部
滴定裝置	50mL	1 套
電源供應器	GW 30V 3A	3 個
筆記型電腦	IBM	2 部
吹風機	一般	1 支
塑膠容器	16L	1 個
Pasco 低壓感測器	CI-6534A 10kPa 精密度 0.01kPa	1 個
Pasco500 型 Interface	CI-6400	1 個
塑膠管(進氣管)	內徑 18.00mm ，長 130cm	1 條
塑膠管(出氣管)	內徑 13.10mm ，長 60cm	1 條

玻璃管(吹氣管)	長 15cm 內徑 10.00、8.40、6.00、 5.40、4.00mm	各 1 支
----------	---	-------

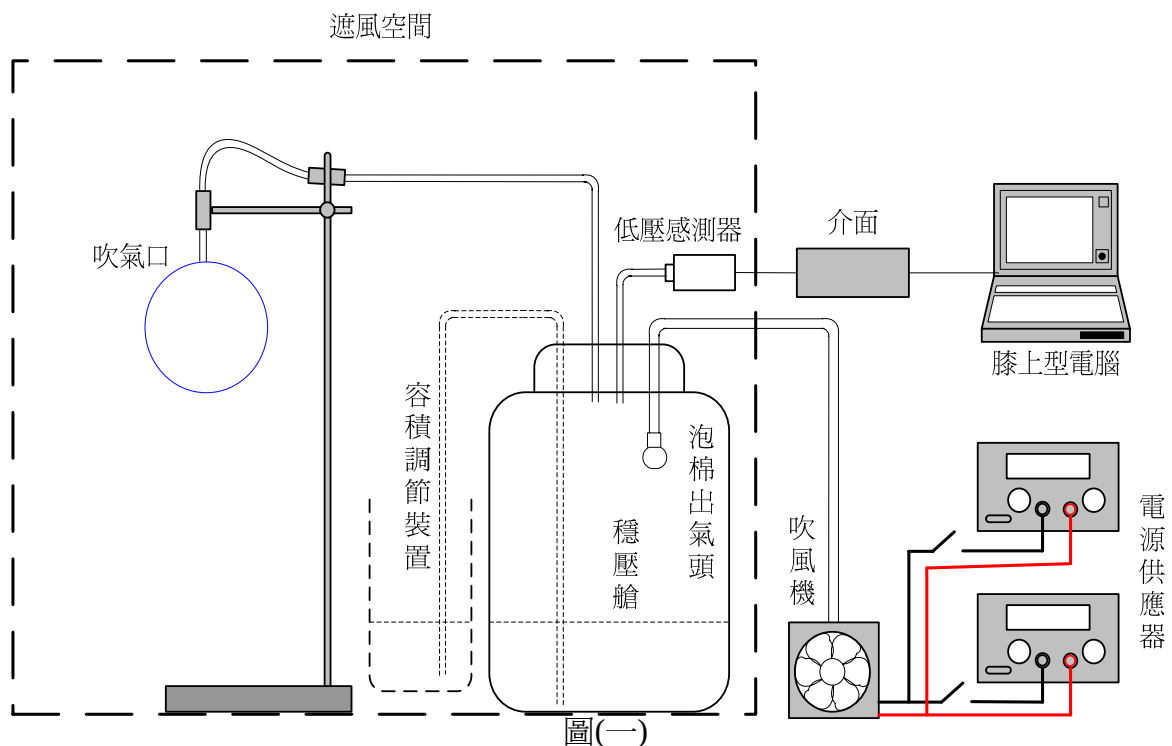
表(一)

伍、研究方法：

一、調配清潔劑溶液：

清潔劑、水、甘油固定體積比 10：20：6，混合均勻。

二、設計裝置：



- (一)、將吹風機拆除電熱裝置，改以兩部並聯的電源供應器供電以方便控制送氣速率及分段送氣。
- (二)、以粗導管將氣流送入塑膠容器(穩壓艙)，導管口裝上泡棉罩，使空氣經無數小孔進入穩壓艙，以減少氣流擾動。
- (三)、從穩壓艙接出兩條導管，一條接低壓感測器。另一條為出氣管，可在末端接上各種口徑硬管當做吹氣口。
- (四)、將吹氣管固定在支架上，置於遮風空間內。

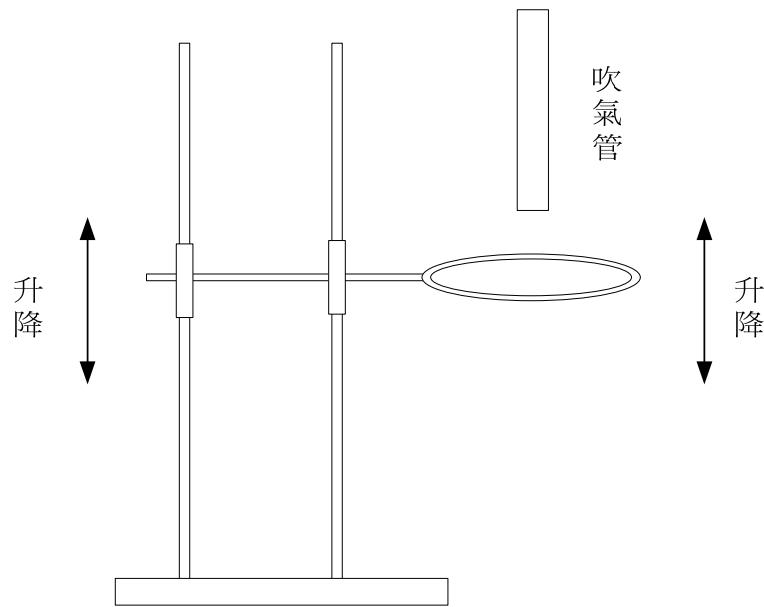
三、主要操作之一 --- 吹泡泡：

- (一)、在吹氣管口沾上清潔劑溶液。
- (二)、打開第一部電源供應器(較低電壓)，使吹風機送氣。
- (三)、使泡泡漲大到某一個程度，再打開第二部電源供應器(較高電壓)，將泡泡吹離管口，並拉出一條管狀泡膜。

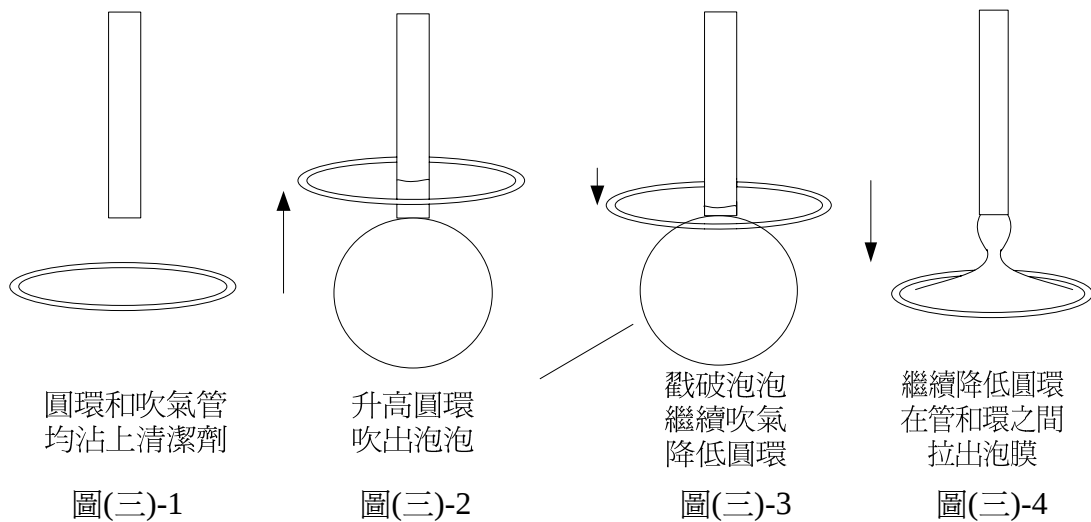
- (四)、利用 DV 攝影機及數位相機拍攝並進行分析。
- (五)、更換吹氣管、改變兩組電源供應器之電壓等因素以進行實驗研究。

四、主要操作之二 --- 吹"開口管狀泡膜"：

- (一)、以粗鐵絲作一有柄的圓形線圈，並纏繞棉線以增加清潔劑的吸附量。
- (二)、將線圈裝置如圖(二)所示。
- (三)、依圖(三)-1 ~ 4 步驟操作。

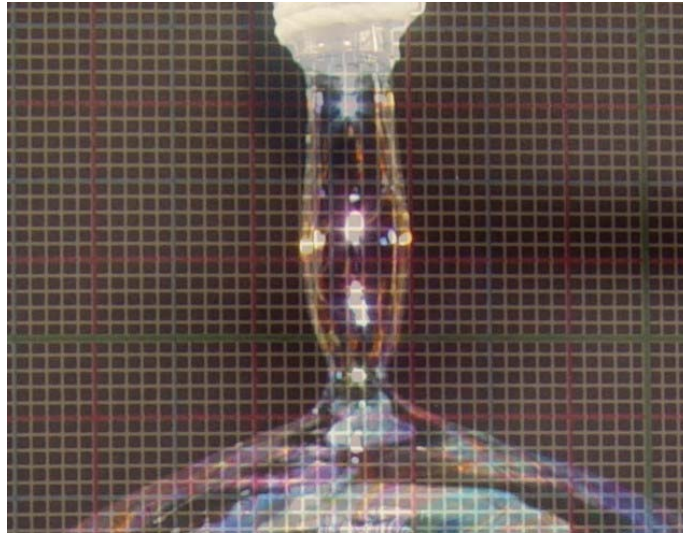


圖(二)



五、相片數據分析：

- (一)、將錄影畫面中，需要分析的部分轉存成靜態畫面。
- (二)、利用繪圖軟體繪製方格線、同心圓，改變透明度及大小比例，套在靜態畫面的相片上，進行測量。



照片(一)

陸、研究過程：

一、電壓與送風量的關係：

(一)、步驟：

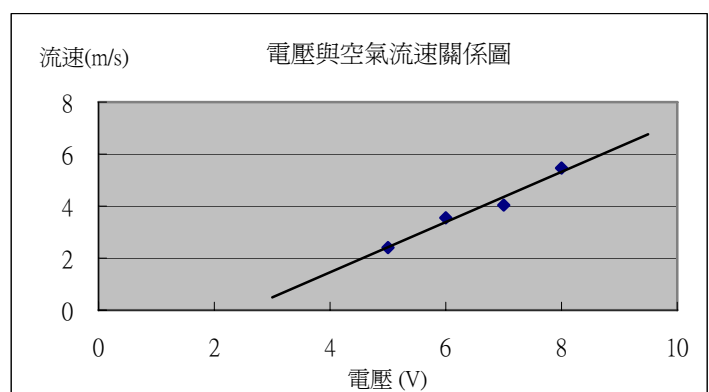
- 1.以圖(一)的裝置，利用 DV 攝影機拍攝固定電壓下吹泡泡的過程。
- 2.由定格畫面分析泡泡體積變化與時間的關係，計算空氣的流量與流速。
- 3.改變電壓，重複步驟 1~2。
- 4.改用不同口徑的吹風管，重複步驟 1~3。

(二)、結果與分析：

- 1.玻璃管[外徑 6mm、內徑 4.0mm]

電壓 (v)	流量 (cm ³ /sec)	流速 (m/s)
5.0	30.2	2.41
6.0	44.5	3.55
7.0	50.7	4.04
8.0	68.5	5.45

表(二)

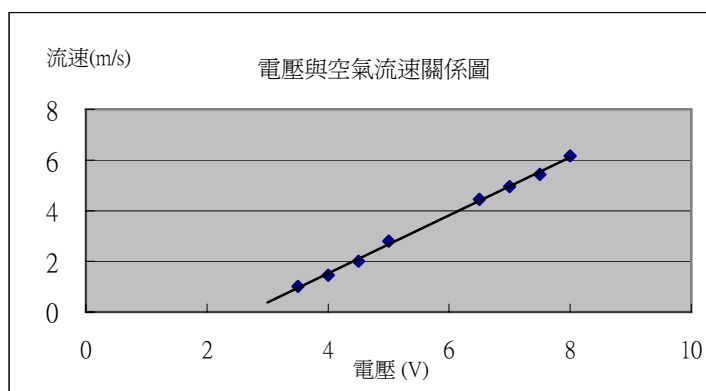


圖(四)-1

2.玻璃管[外徑 7mm、內徑 5.4mm]

電壓 (v)	流量 (cm ³ /sec)	流速 (m/s)
3.5	23.2	1.01
4.0	33.2	1.45
4.5	45.8	2.00
5.0	64.2	2.80
6.5	101.8	4.44
7.0	113.3	4.95
7.5	124.4	5.43
8.0	141.0	6.16

表(三)

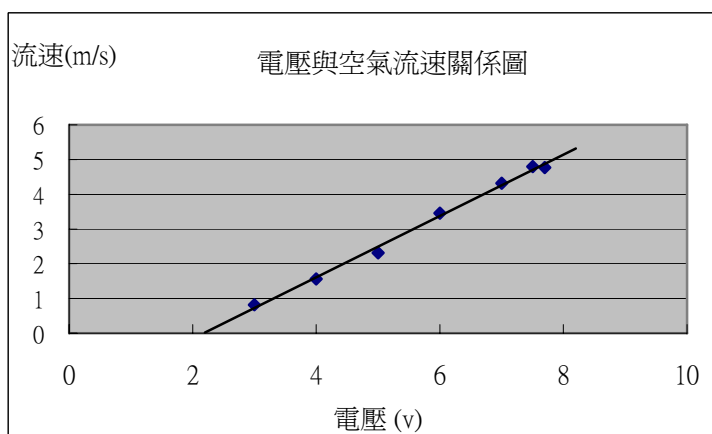


圖(四)-2

3.玻璃管[外徑 8mm、內徑 6.0mm]

電壓 (v)	流量 (cm ³ /sec)	流速 (m/s)
3.0	23.2	0.82
4.0	44.3	1.57
5.0	65.6	2.32
6.0	97.6	3.45
7.0	122.2	4.32
7.5	135.7	4.80
7.7	134.9	4.77

表(四)

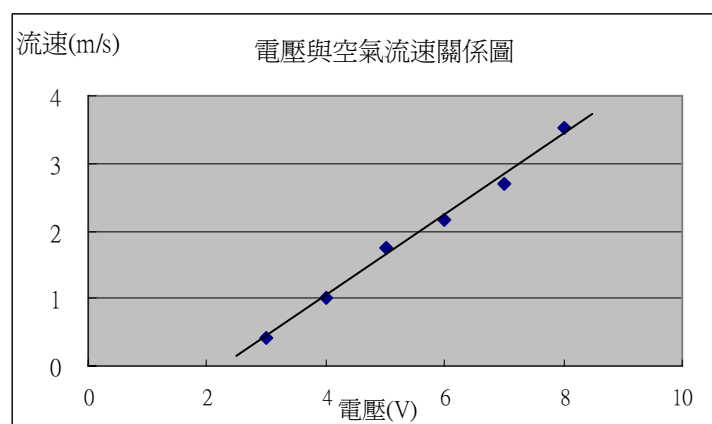


圖(四)-3

4.玻璃管[外徑 10mm、內徑 8.4mm]

電壓 (v)	流量 (cm ³ /sec)	流速 (m/s)
3.0	23.8	0.43
4.0	55.8	1.01
5.0	97.5	1.76
6.0	119.4	2.16
7.0	150.1	2.71
8.0	194.7	3.51

表(五)

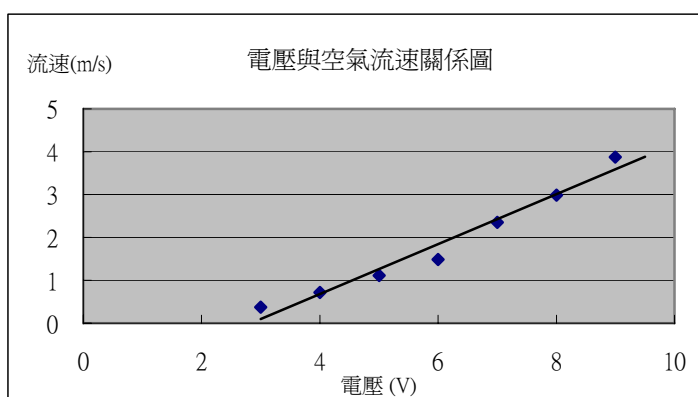


圖(四)-4

5.玻璃管[外徑 12mm、內徑 10mm]

電壓 (v)	流量 (cm ³ /sec)	流速 (m/s)
3.0	29.0	0.37
4.0	56.3	0.72
5.0	87.3	1.11
6.0	117	1.49
7.0	185	2.35
8.0	234	2.98
9.0	304	3.88

表(六)



圖(四)-5

(三)、由上面關係圖可知，電壓與流速，大致成線性關係。

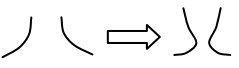
二、肥皂泡膜形狀的觀察：

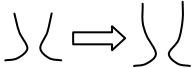
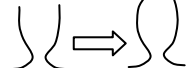
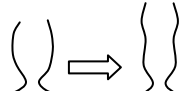
(一)、步驟：

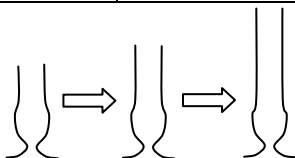
- 1.如伍、實驗方法，三、操作。
- 2.變換不同的起始電壓或驅動電壓，重複上述步驟 1。
- 3.更換不同口徑的玻璃管，重複上述步驟。

(二)、結果：

以下為外徑 7mm 的玻璃管，以 5V 電壓將泡泡吹大，再以 7.5V 電壓將泡泡吹離為例，所擷取的靜態畫面(時間間格 1/30 秒)

			
照片(二)-1	2	3	4
用低電壓將泡泡吹至一定大小	啓動較高的電壓，泡泡上端稍微離開吹氣管。	吹氣管與泡泡間拉出一段短短的管狀泡膜。 	連接在泡泡處的泡膜口徑明顯變小 

			
照片(二)-5	6	7	8
連接處泡膜的上半部口徑變大 		上端泡膜明顯的鼓漲成橢圓狀。 	
			
照片(二)-9	10	11	12
橢圓狀泡膜持續增大	橢圓狀泡膜發生劇烈晃動		原橢圓狀泡膜瞬間變成兩部份 
			
照片(二)-13	14	15	16
吹氣管與大泡泡間有凹凸明顯的泡膜構造	泡膜上端有晃動不穩定的情形		產生一段管狀的泡膜，與泡泡相連處口徑特別小(腰部)，上方有一節凹凸明顯的構造(矛頭)

			
照片(二)-17	18	19	20
泡泡與吹氣口距離增加，管狀泡膜長度也隨著增加，但是口徑並無明顯改變，腰部、矛頭的大小形狀均無變化 			
			
照片(二)-21	22	23	24
管狀泡膜長度持續增加。			
			
照片(二)-25	26	27	28
管狀泡膜長度持續增加。			

			
照片(二)-29	30	31	32
管狀泡膜長度持續增加。		與大泡泡連接處斷裂 產生連續的小泡泡	
		管狀泡膜破裂	

(三)、分析：

1. 各種不同口徑的吹氣管，較容易吹出穩定管狀泡膜的電壓如下：

玻璃管外徑	穩定吹出管狀泡膜的電壓範圍
6 mm	7.8 ~ 10.0 V
7 mm	6.5 ~ 8.0 V
8 mm	6.5 ~ 9.0 V
10 mm	7.8 ~ 9.0 V
12 mm	8.0 ~ 9.5 V

2. 在吹出管狀泡膜的過程中，管狀泡膜持續出現近 1 秒鐘，而矛頭的產生與泡膜破滅等過程都發生在極短的時間內(1/30 秒之內)，相較之下，管狀泡膜的存在，可視為穩定狀態。
3. 各種口徑在適當的電壓下所吹出的管狀泡膜，其形狀與變化幾乎是相同的。也就是說，是由某些特定的物理機制在控制著泡膜的結構變化，而這些物理機制可能是與肥皂泡內氣體的壓力或是肥皂膜的表面張力有關。

三、管狀泡膜的結局：

我們發現管狀泡膜通常會有兩種不一樣的結局。

(一)、管狀泡膜由上方破裂，整個泡膜結構消失：

當泡泡向下移動將管狀泡膜拉長，此時，肥皂膜容易因為變薄而破裂。



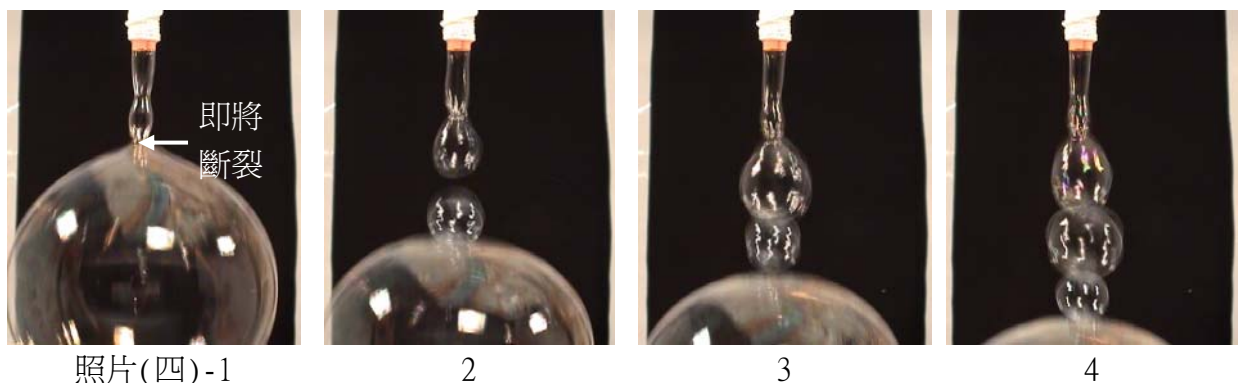
照片(三)-1

2

3

(二)、連鎖性的產生一連串的泡泡：

當大泡泡下降一段高度後，與大泡泡連結的腰部發生閉合，此時腰部上端的矛頭，會開始鼓漲成為一個新的泡泡，而原本矛頭上方的管狀泡膜，成為一個新的矛頭，如此不斷的循環下去，產生一連串的泡泡。

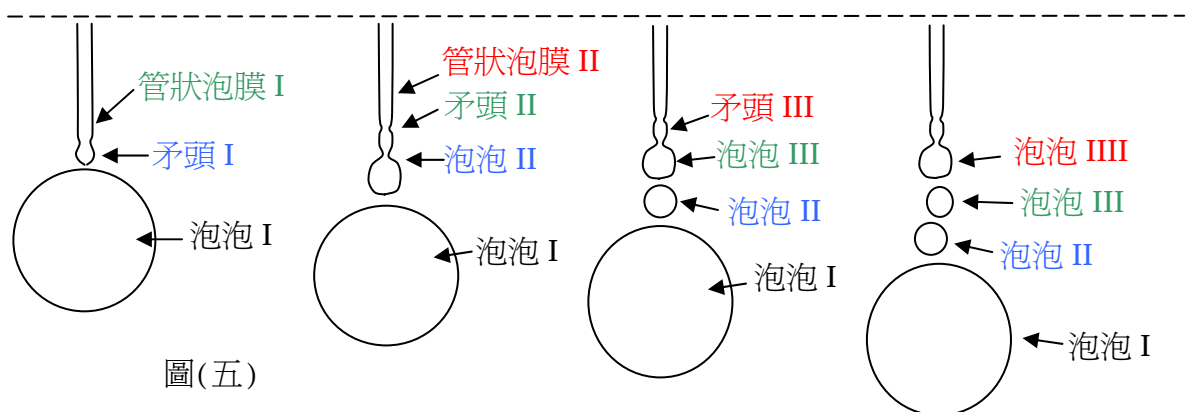


照片(四)-1

2

3

4



圖(五)

四、探討產生連鎖小泡泡的過程：

(一)、步驟：

- 1.將纏上棉線的鐵環，沾滿肥皂液後水平揮動。
- 2.利用 DV 攝影機拍攝一連串泡泡產生的過程。

(二)、結果與分析：



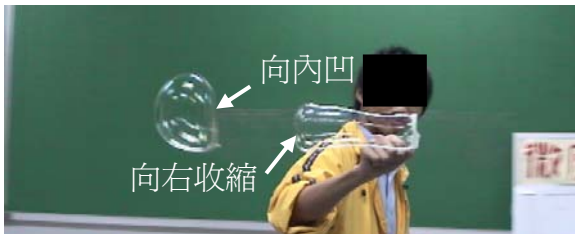
照片(五)-1

當氣流進入管狀泡膜尾端時，因壓力增大而使尾端鼓脹。



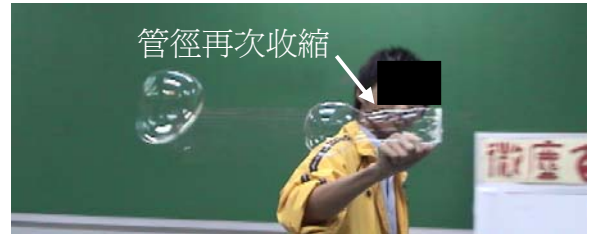
2

尾端前方的泡膜收縮形成腰部



照片(五)- 3

腰部斷裂，左端形成一個泡泡，右端因表面張力收縮而變形。



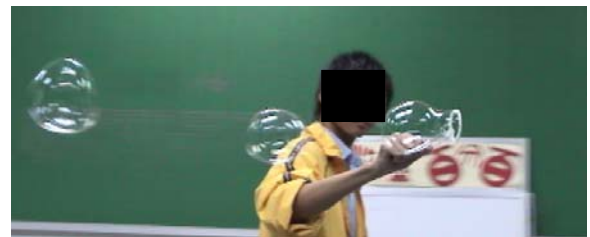
4

破裂時收縮的作用力使管狀泡膜震盪，尾端前方再次收縮。



5

第二個泡泡即將產生。



6

重複上述過程，泡泡持續不斷產生。

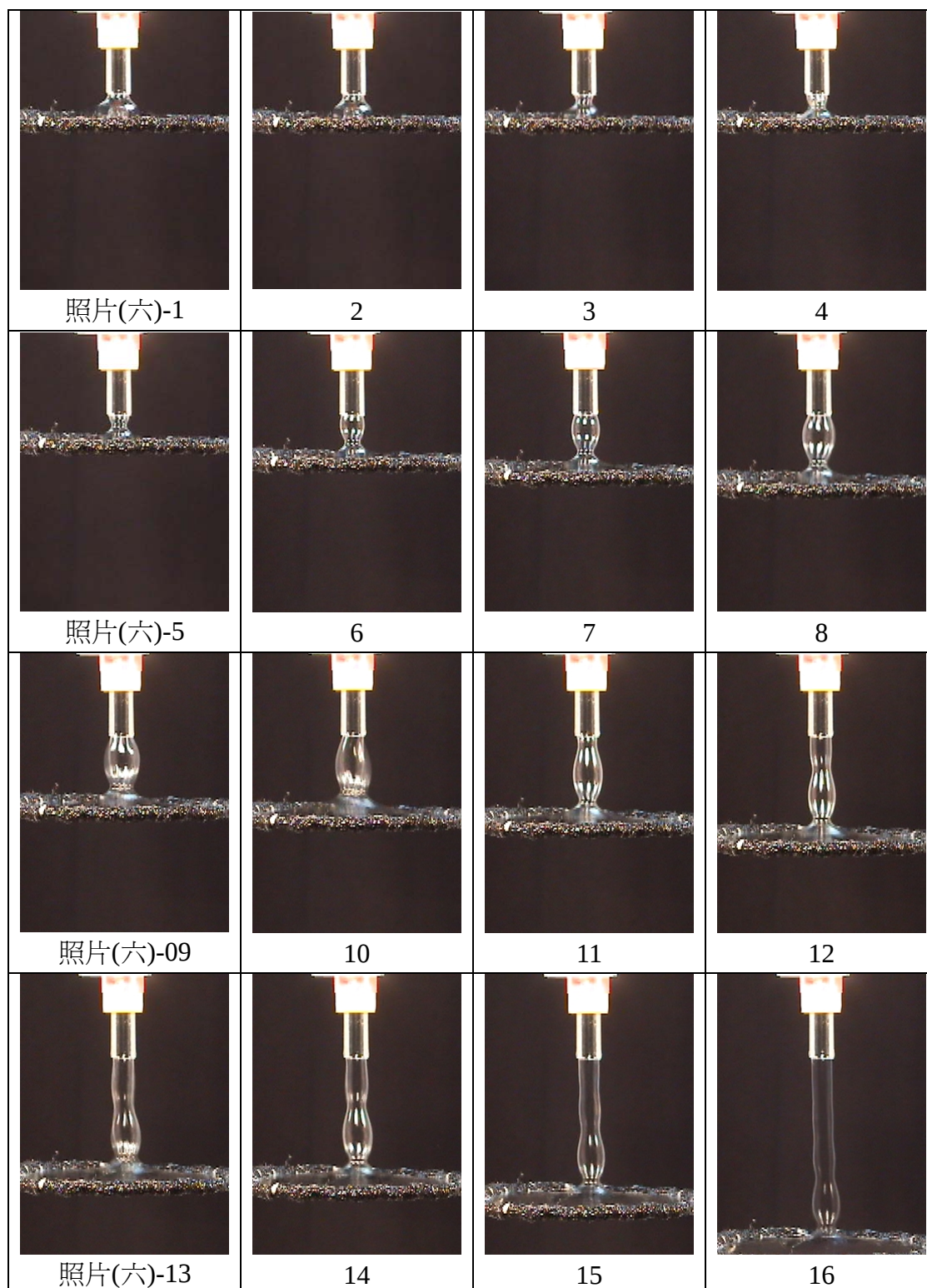
五、利用拉環裝置長時間觀察管狀泡膜的變化：

爲了驗證管狀泡膜可以穩定存在以及長時間觀察管狀泡膜的特性，我們利用拉環沾上皂泡膜代替泡泡，藉此觀察管狀泡膜產生的過程及變化。

(一)、步驟：

如伍、實驗方法，四、吹"開口管狀泡膜"。

(二)、結果：



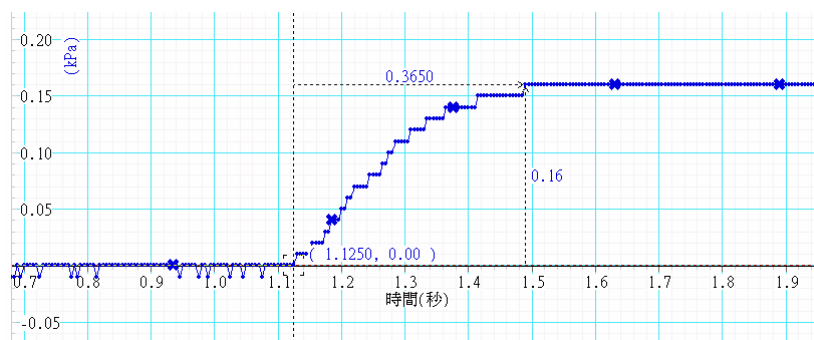
1. 實驗結果與利用大泡泡拉出的管狀泡膜，不論是外型或是過程中的形狀變化均非常類似。
2. 利用拉環產生的泡膜可持續存在很長的時間(可達 25 秒)，由此可知，管狀泡膜是一種穩定結構。
3. 泡膜的形狀只與吹氣管到拉環面之間的距離有關。
4. 從觀察中看到了一個特殊的現象，當拉環下拉到某些特定位置時，整個泡膜結構會非常不穩定的晃動，如照片(六)–4、9、10、13。

六、探討氣體密度的變化程度：

(一)、操作：

1. 將電源供應器電壓由 0 伏特瞬間增加為 10.5 伏特。
2. 利用 Pasco 低壓感測器，測量穩壓艙內氣體壓力的變化。

(二)、結果與分析：



圖(六)

1. 當電壓由 0 伏特瞬間增加為 10.5 伏特時，容器內氣壓變化僅稍微延遲一些時間($\Delta t = 0.365$ 秒)。利用圖(一)中的容積調節裝置改變容器內空氣體積，並不會對吹出的管狀泡膜有明顯的改變。
2. 當電壓增為 10.5 伏特時，容器內的壓力僅僅增加 0.16kPa 而已，與大氣壓(約 100 kPa)比較起來，這樣的壓力變化大約僅占一大氣壓的 0.2%。利用理想氣體方程式： $P \times M = d \times R \times T$ ，容器內的空氣密度變化，大約也只有原密度的 0.2%，為了方便分析，我們將容器、管內各部份空氣密度視為定值。

七、表面張力的測定

(一)、步驟：

- 1.調整滴定管流量，使清潔劑溶液緩慢的自管口滴落。
- 2.紀錄清潔劑下落的滴數與減少的體積。
- 3.利用電子秤測量 100ml 的清潔劑質量。
- 4.算出每一滴清潔液的重量後再除以管口的週長，即可得知表面張力的大小。

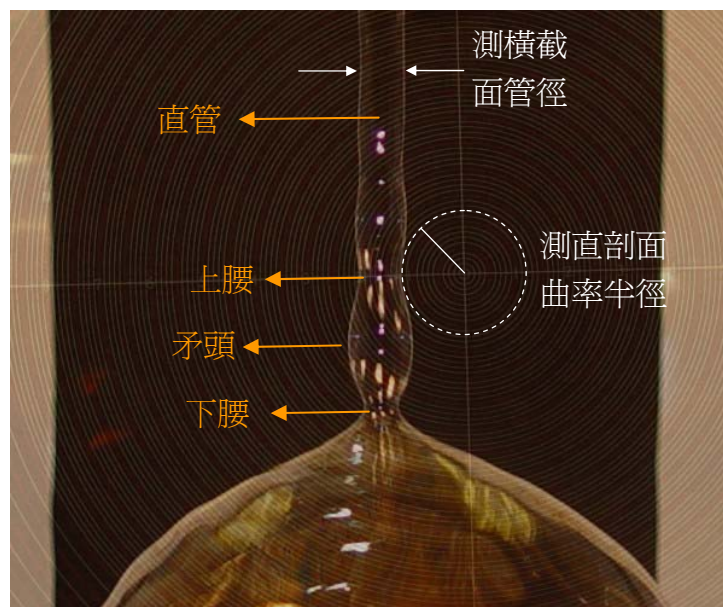
(二)、結果：

清潔劑溶液	15.0 mL 共 950 滴
	100mL 質量為 104.713 g
每一滴質量 重量	0.0165 g/滴
	0.00016 N/滴
滴管直徑	2.70 mm
表面張力	0.019 N/m

表(七)

八、由管狀泡膜的形狀分析各部份的壓力

(一)、測量各部分直剖面的曲率半徑及橫截面的管徑



照片(七)

(二)、結果與分析

- 1.將各部分測量的數據，帶入 Laplace 方程 $\Delta P = 2T \times (\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$ ，結果如下表。
- 2.由連續方程式 $A \times V = \text{定值}$ ，算出管狀泡膜各部份的氣體流速，如下表。

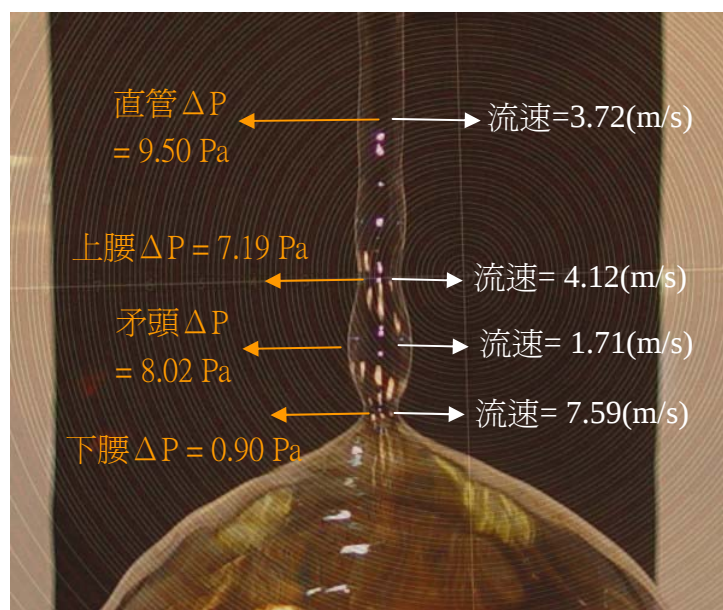
10mm 8.5V 管狀泡膜各部分壓差分析

表面張力 0.019 N/m
平均流速 3.72 m/s

選取部位		曲率半徑 (mm)	倒數 (1/m)	壓差 ΔP (Pa)	截面積 (m ²)	推估之流速 (m/s)
直管	橫截面	4.0	250	9.50	0.000050	3.72
上腰	橫截面	3.8	263	7.19	0.000045	4.12
	直剖面	13.5	74			
矛頭	橫截面	5.9	169	8.02	0.000109	1.71
	直剖面	24.0	42			
下腰	橫截面	2.8	357	0.90	0.000025	7.59
	直剖面	3.0	333			

表(八)

3. 由管狀到上腰因為壓力變小，所以流速加快。上腰到矛頭由於壓力變大，所以流速變慢。由矛頭到下腰因壓力減小，所以流速加快。



照片(八)

4. 各部分形成的可能原因：

- (1) 由吹氣管進入泡泡內部的空氣由於壓力降低流速遽增，加上肥皂膜表面張力收縮的作用，會在泡泡的上端產生一個口徑極細的『腰部』構造。
- (2) 由於腰部管道縮小，氣流受阻壓力增大而在腰部上方形成紊流，於是有一個明顯的凹凸結構，我們稱之為『矛頭』。
- (3) 在管狀泡膜上部，由於氣流穩定壓力也穩定，與表面張力形成平衡狀態，可視為吹氣管的延伸。

九、由臨界電壓測表面張力

(一)、步驟：

- 1.比較各種管徑中，能吹出管狀泡膜的最低電壓。
- 2.比對 陸、研究過程，一、電壓與送風量關係 所得結果，推算各管徑在步驟 1 中相對應的流速、流量，並計算吹氣管所產生的衝力。
- 3.測量泡泡的平均質量。
泡泡質量 =『吹氣前沾上清潔劑的玻璃管質量』-『吹氣之後的玻璃管質量』。
- 4.計算表面張力

(二)、結果與分析：

外徑 (mm)	內徑 (mm)	臨界電壓 (V)	流量 (m ³ /s)	流速 (m/s)	流量 × 流速	衝力 (N)
6.0	4.0	7.7	0.000063	5.02	0.00032	0.00038
7.0	5.4	6.4	0.000098	4.27	0.00042	0.00050
8.0	6.0	6.4	0.000105	3.73	0.00039	0.00047
10.0	8.4	7.4	0.000170	3.06	0.00052	0.00062
12.0	10.0	7.8	0.000227	2.89	0.00066	0.00079

表(九)

玻璃管內徑(mm)	4.0	5.4	6.0	8.4	10.0
泡泡的平均質量 (g)	0.012	0.014	0.016	0.025	0.033

表(十)

- 1.臨界電壓時，作用在泡泡上的『泡泡重量』與『吹氣口向下吹的風力』，恰可撐開吹氣管口與泡膜間表面張力的合力。
- 2.表面張力= $\frac{\text{泡泡重量} + \text{吹氣管衝力}}{2 \times \text{內徑周長}}$ 。

外徑 (mm)	內徑 (mm)	衝力 (N)	泡泡重量 (N)	衝力+泡泡重量 (N)	表面張力 (N/m)
6	4.0	0.00038	0.000121	0.00050	0.020
7	5.4	0.00050	0.000140	0.00064	0.019
8	6.0	0.00047	0.000158	0.00063	0.017
10	8.4	0.00062	0.000246	0.00087	0.017
12	10.0	0.00079	0.000327	0.00111	0.018

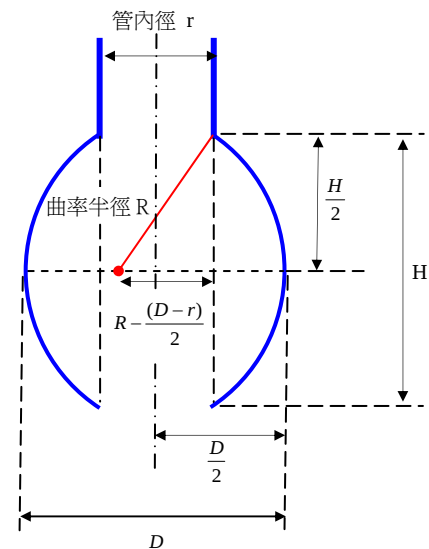
表(十一) 平均值 = 0.018 (N/m)、標準差 = 0.0015

- 3.此方法所測得的表面張力 = 0.018 ± 0.0015 (N/m)，與研究七所測得表面張力 $T = 0.019$ (N/m) 結果十分接近。

十、矛頭形狀的分析：

(一)、理論：

實驗中觀察到每一次吹出管狀泡膜時，矛頭的形狀都很相似，為了解矛頭生成過程中，泡膜內外壓力差 ΔP 與泡膜形狀的關係，我們將矛頭曲面近似為球面處理，其中矛頭的最大寬度 D ，高度 H ，泡膜直剖面的曲率半徑為 R ，管內徑 r ，如圖(七)。



圖(七)

$$\therefore R^2 = \left(\frac{H}{2}\right)^2 + \left[R - \frac{(D-r)}{2}\right]^2$$

$$\Rightarrow R^2 = \frac{H^2}{4} + R^2 - R(D-r) + \frac{(D-r)^2}{4}$$

$$\Rightarrow R = \frac{H^2 + (D-r)^2}{4(D-r)}$$

代入 Laplace 方程式： $\Delta P = 2T \times \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ 可得 $\Delta P = 4T \times \left[\frac{1}{D} + \frac{2 \times (D-r)}{H^2 + (D-r)^2}\right]$

(二)、步驟：

- 1.分析 7mm 在 7.5V 下吹出的管狀泡膜，測量每隔 1/30 秒矛頭的 D 以及 H 。
- 2.改變不同口徑的玻璃管，重複步驟 1，並比較矛頭穩定時之形狀特徵。

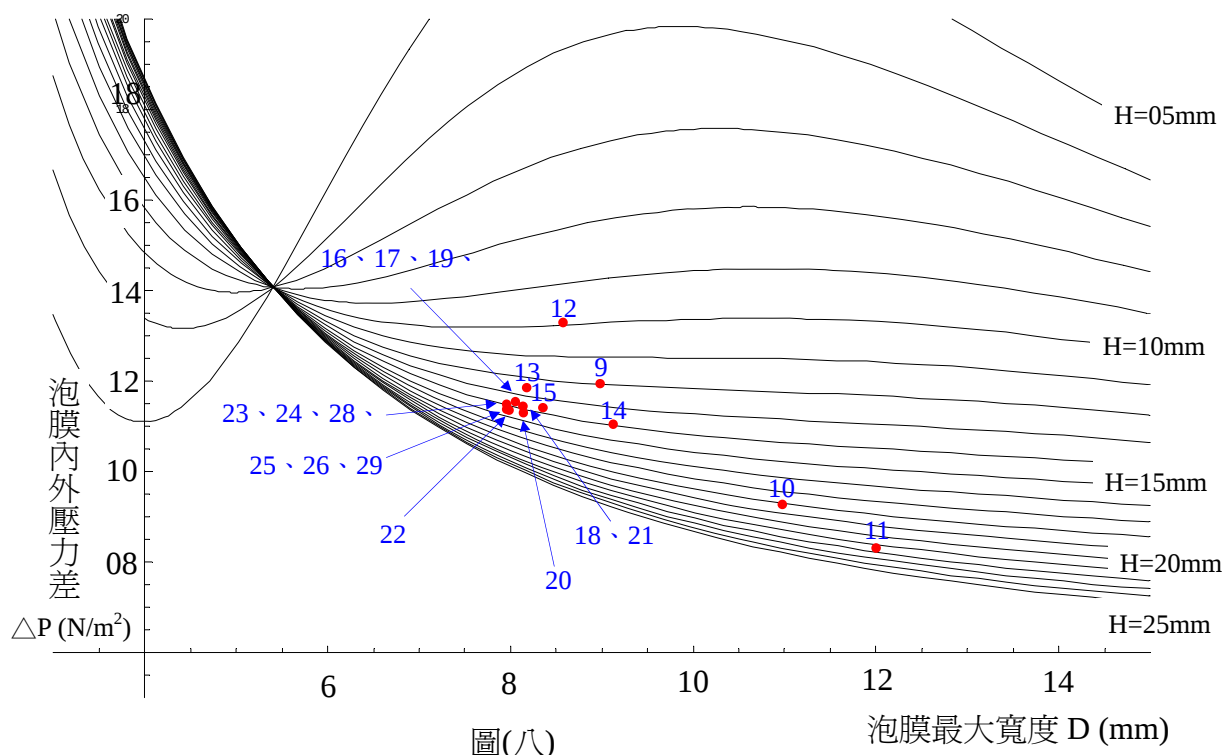
(三)、結果與分析：

1.由步驟 1 所測得之結果如下表。(參考照片(二)-1~32)

照片編號	D (mm)	H (mm)	D / H	說明	照片編號	D (mm)	H (mm)	D / H	說明
(二)- 9	9.0	12.0	0.75	持續增大	20	8.0	14.0	0.57	維持穩定狀態
10	11.0	18.0	0.61		21	8.2	14.0	0.59	
11	12.0	21.6	0.56	不穩定	22	8.0	14.6	0.55	
12	8.6	10.0	0.86	分成兩部份	23	8.0	14.0	0.57	
13	8.2	12.4	0.66	生成第二矛頭	24	8.2	13.8	0.59	
14	9.2	14.0	0.66	不穩定	25	8.2	13.6	0.60	
15	8.4	13.8	0.61		26	8.0	14.2	0.56	
16	8.0	14.0	0.57	管狀泡膜生成	27	8.1	14.0	0.58	
17	8.0	14.2	0.56	維持穩定狀態	28	8.2	14.4	0.57	
18	8.2	14.0	0.59		29	8.0	14.2	0.56	
19	8.1	13.8	0.59		30	8.0	14.0	0.57	

表(十二)

2.將方程式 $\Delta P = 4T \times \left[\frac{1}{D} + \frac{2 \times (D-r)}{H^2 + (D-r)^2} \right]$ 利用 mathematic 繪圖。並將上述數據標記，結果如下圖。



3.初期的矛頭被逐漸拉長時，寬度也隨之增加，壓力漸減 (編號 9→11)，數據點向圖右下方移動。當大矛頭形狀有明顯改變，分成兩個部份時 (編號 11→12)，在圖形上的位置有明顯跳躍的情形。

4.當矛頭形狀變化後，泡膜並沒有立刻穩定下來，仍然有晃動的情形，此時，在上圖中的數據點不規則移動 (編號 12→14)。

5.當管狀泡膜穩定被拉長後，矛頭的形狀即不再改變，在上圖中，數據點幾乎都在同一位置上，此時矛頭內部壓力保持不變 (編號 13→30)。

6.各種不同管徑的穩定矛頭之形狀特徵，測量結果如下：

外徑 (mm)	內徑 (mm)	管狀泡膜寬 r (mm)	平均矛頭寬 D(mm)	平均矛頭高 H (mm)	平均下腰寬 d (mm)	D / r	H / r	d / r
6.0	4.0	4.1	6.0	9.6	3.6	1.46	2.34	0.89
7.0	5.4	5.4	8.3	15.0	4.7	1.54	2.78	0.79
8.0	6.0	6.1	9.1	15.7	4.8	1.49	2.57	0.79
10.0	8.4	8.4	12.4	22.8	7.3	1.48	2.71	0.81
12.0	10.0	10.4	14.8	25.9	8.7	1.42	2.49	0.79

表(十三)

平均 1.48 2.58 0.81
標準差 0.04 0.17 0.04

7.當矛頭穩定時，不論出氣管的口徑為何，矛頭的形狀均相似，其比例關係為：

$$\begin{aligned} & \text{吹氣管內徑} : \text{管狀泡膜內徑} : \text{矛頭寬度} : \text{矛頭長度} : \text{下腰寬度} \\ & = 10 : 10 : 15 : 26 : 8 \end{aligned}$$

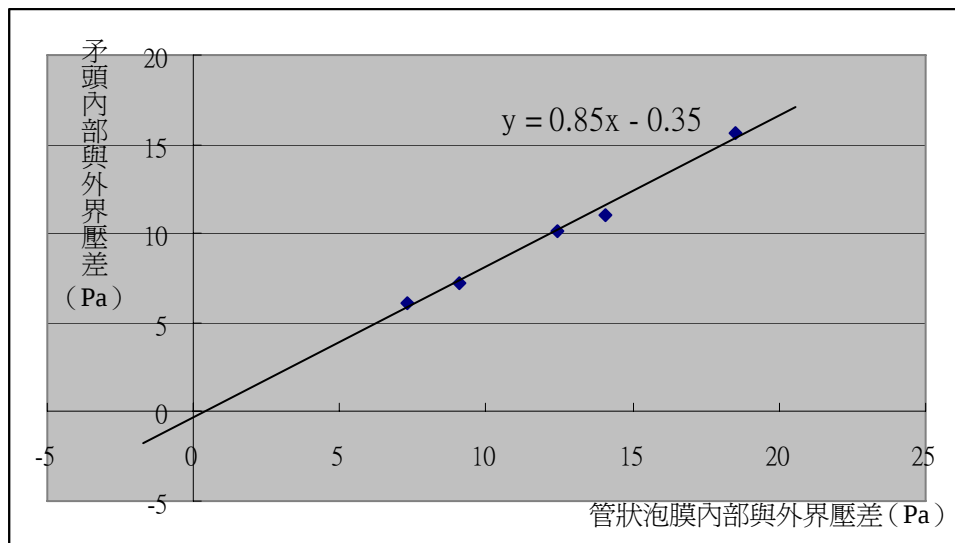
8.從管狀泡膜(含矛頭)各部份的穩定存在，可判斷在管內及出口附近有一定的壓力變化過程，大小與管子的內徑有關。

十一、由泡膜形狀分析壓力變化：

將表(十三)中各管徑的數據利用 Laplace 方程式計算出管狀泡膜與矛頭處內外的壓差，並作圖分析。

玻璃管外徑(mm)	泡膜內與外界壓力差(Pa)	
	管狀	矛頭
6.0	18.5	15.7
7.0	14.1	11.0
8.0	12.5	10.1
10.0	9.0	7.3
12.0	7.3	6.1

表(十四)



圖(九)

由上圖可知，在各種口徑的管狀泡膜中，管狀部份的壓差與矛頭部分的壓差約成正比。絕大部分的壓力釋放，是發生在下腰處（約 85%）。

柒、討論：

一、由 Laplace 方程式與連續方程式所得結果，探討白努力方程式的適用性。

(一)、將研究過程八所測得的速度帶入白努力方程式計算管狀泡膜內部，兩點間的壓力差 $\Delta P \approx \frac{1}{2} \times \rho \times (V_1^2 - V_2^2)$ ，與利用 Laplace 方程式算出來的壓力差比較，兩者相差很多。

空氣密度 =

1.2kg/m^3

選取部位	利用泡膜曲度計算壓力差		利用白努力定律計算壓力差	
	與外界的壓力差	兩部位的壓力差	平均流速	兩部位的壓力差
上腰	7.19 (Pa)	6.29 (Pa)	4.12 (m/s)	24.38 (Pa)
下腰	0.90 (Pa)		7.59 (m/s)	

表(十五)

(二)、白努力方程式在本實驗中並不適用，可能的原因是，管內並不是穩定的層流，而是不穩定的紊流。

二、管狀泡膜腰部生成的原因：

(一)、在拉環實驗中，可看出吹氣管有無送風，對泡膜形狀是有差別的：



照片(九) 吹氣管沒有送風的情形



照片(十) 吹氣管有送風的情形

(二)、分析：

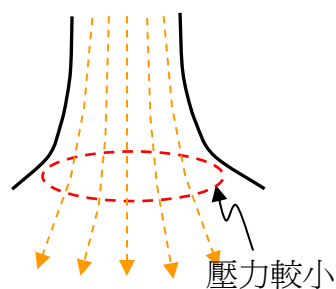
1. 吹氣管不送風時，只在吹氣管與圓環泡膜間稍微拉出一個小小的突起結構

，但開始送風後，產生一個形狀為  的腰部，故腰部的成因與風流動的壓力有關。

2. 當氣流吹出短管狀的泡膜時，因空間增大使得壓力變小。故短管下方的泡膜，會將下緣的肥皂膜向下拉，而短管部份的表面張力也會向內收縮，使得短管下緣部份管徑變小。

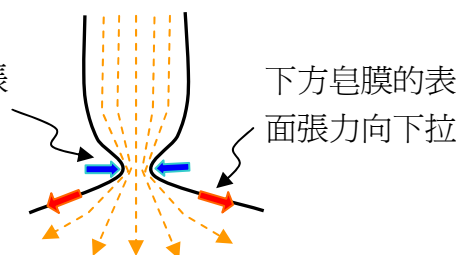
3. 當管徑較細的『腰部』產生時，上下兩端表面張力向兩側撐開的作用力與使腰部向內收縮的表面張力以及腰部內外氣壓差達成平衡，使得腰部構造可以

長時間維持平衡態。



圖(十)

腰部的表面張力縮小管徑



圖(十一)

三、矛頭的功能與不穩定的原因：

- (一)、矛頭像是一個具有雙開關的構造，經由改變上下兩個腰部的大小，來調節進出氣體的流量，藉此達成穩定。
- (二)、在拉環實驗中，如照片(六)-9 ~ 10，所觀察到的不穩定現象，可能原因為拉環下移後矛頭壓力逐漸變小，由於上腰被吹氣管束縛住，使得進出矛頭的氣體量無法達成平衡，造成下腰不斷的開闔，矛頭因而處於不穩定的狀態。

四、在不同電壓下，吹管狀泡膜時的差異性：

觀察結果：

電 壓 大 小	觀 察 到 的 泡 泡 特 性
電 壓 非 常 小	吹不出泡泡...
電 壓 有 點 小	能夠吹出泡泡，但是不會離開吹氣口。
略小於臨界電壓	泡泡不會立刻離開，變大後才會離開管口，另一個泡泡會立即生成。
臨 界 電 壓	泡泡與吹氣管間拖著一段管狀泡膜，但長度不會增長，泡泡會長時間停留在原處。
能穩定吹出管狀泡膜的電壓範圍	能順利拉出管狀泡膜，且矛頭形狀明顯。
較 大 的 電 壓	可以拉出管狀泡膜，且在大泡泡脫離後，還會連續產生小泡泡。
電 壓 太 大	泡膜非常容易破裂，不易看到管狀泡膜產生小泡泡的現象。

表(十六)

捌、結論：

- 一、以兩段式吹氣法能夠產生效果較佳的管狀泡膜，下表為各種口徑的臨界電壓及可吹出穩定管狀泡膜的電壓範圍。

外徑 (mm)	內徑 (mm)	臨界電壓 (V)	可吹出穩定管狀泡膜的電壓範圍 (V)
6.0	4.0	7.7	8.0 ~ 10.0 V
7.0	5.4	6.4	6.5 ~ 8.0 V
8.0	6.0	6.4	6.5 ~ 9.0 V
10.0	8.4	7.4	7.8 ~ 9.0 V
12.0	10.0	7.8	8.0 ~ 9.5 V

表(十七)

- 二、管狀泡膜(包括矛頭部分)除了對氣流提供一個適當的束縛，其外型同時也反應出氣流在壓力及流速上的特徵(詳見研究過程八)。其中矛頭更有如一個雙開關的氣流調整器，以其特定的外形所提供的壓力，控制由管狀到外界(或大泡泡)之間的氣壓，具有穩定釋放氣壓的功能。
- 三、吹出管狀泡膜後，會有兩種不同結果。一種是由於管狀泡膜被拉長後，泡膜厚度變薄而破裂；另一種是腰部的泡膜閉合後，在管狀泡膜下端連續產生小泡泡。
- 四、利用臨界電壓恰可吹出管狀泡膜，此時吹氣口的風力加上泡泡的重量，恰可拉出管狀泡膜，利用此關係計算出表面張力為 $0.018(\text{N/m})$ 。
- 五、當矛頭穩定後，不同管徑所吹出的矛頭形狀均相似。

吹氣管內徑：管狀泡膜內徑：矛頭寬度：矛頭長度：下腰寬度
= 10 : 10 : 15 : 26 : 8

玖、參考資料

一、期刊類

- (一)、傅宗玖、陳正平 著 冒泡的美 科學發展月刊 第 29 卷第 11 期
第 788 頁到第 796 頁。

二、圖書單行本

- (一)、陳文典 等著 高中物質科學物理篇 康熙出版社
(二)、林明瑞 等著 高中物質科學物理篇 南一出版社
(三)、劉寄星 著 從肥皂泡到液晶生物膜 初版 臺北市出版 牛頓出版社 第 120 頁到第 141 頁 民國 84 年出版
(四)、張炳暄 著 流體力學概論 初版 臺北市出版 文京圖書出版社 第 127 頁到第 159 頁 民國 84 年出版

三、網站資料

- (一)、Ron Hipschman 著 Bubbles
<http://www.exploratorium/ronh/bubbles/bubbles.html>

評	語
---	---

040106 管狀泡膜之研究

能利用簡便方法測表面張力，且能有效產生管狀泡膜，並對管狀泡膜的幾何關係深入觀察與分析，唯實驗數據均未作誤差範圍之估算，且對管狀泡膜產生之原因及管數之控制尚需進一步探討。