中華民國第52屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　物理科

第三名

030105

大珠小珠落一盤－出水端水滴體積變化之研究

學校名稱：臺南市立復興國民中學

作者：	指導老師：
國一 劉勝傑 國二 戴于傑 國二 胡郁淇	黃雅稜 戴嘉亨

關鍵詞：體積、重力、表面張力

摘　要

想了解水滴在出口端體積受到哪些因素影響並分析重力與表面張力兩者關係，研究發現

(一)水滴接近滴下時底部水滴會彈性內縮；毛邊會破壞水的表面張力，輸出體積下降；出口端往水平方向傾斜時，輸出體積大約為垂直時的1/2。

(二)出口端為斜口時水滴的脫離點會往斜長中央點移動；出口端厚度變薄，接觸長度減少，往上總力降低。水流量大會有過量的水被往下帶；出口處疏水性強時，端口邊緣沒有水附著，水滴會較小。

(三)液滴增大時重力與表面張力之垂直向上總力比值會先降後升，表示開始時表面張力大於重力，但隨水量增加時接觸的周長迅速增加使得表面張力在垂直向上的總力大幅提升。隨後因重量持續增加使得比值隨之升高到了接近滴下前比值約為1。

壹、 研究動機

在一次實驗中，老師要求我們測量滴管每一滴水的體積為多少？過程中我們將水無意中滴在微量天平上，想直接測出它的一滴水重量有多少，發現每一次秤得的重量幾乎多不同，而且有時差異很大，接著又使用滴定管來輸出水滴，情況也雖有改善但仍然並不穩定，只是滴定管所得的液體體積較接近，我們上網查詢百科【1】內容為：『用滴管來滴液體，如果操作很小心很慢滴出來的液滴重量基本上是一樣。因為液體運動得很慢，所以整個過程中可以認為液滴處於平衡狀態。其實不是真正的穩定狀態，但是運動得很慢，所以可以當成平衡態來做靜力學分析』。但我們的實驗發現，即便非常緩慢的滴，也不會完全一樣，因此我們又查遍歷屆全國科展的所有作品，找到在全國第 50 屆科展，有一篇高中作品【2】曾經慢慢滴去測量塑膠滴管水滴體積大小並發現不會一樣，因此我們有個疑問，到底出口端的水滴大小會不會相同？**搜尋資料後我們發現全國科展中並沒有人去研究輸水器出口端水滴大小**，所以為了解水滴輸出時它的體積大小會受到哪些因素影響，因而引發本研究之動機。

貳、研究目的

本研究欲探討的問題如下：

(一)研究何種輸出液體工具所滴出的水滴體積均一性較高？

(二)探討輸出液體工具出口端平整度、傾斜、斜口、尖口、曲線與厚度是否影響輸出體積？

(三)分析出口端疏水性強弱有是否影響輸出體積？

(四)研究輸出液體工具之流量大小是否影響輸出體積？

(五)藉由所推導的理論公式與實際測量求重力/表面張力之垂直向上總力之值。

叁、原理探討

重力/表面張力之垂直方向總力理論推導

表面張力的成因，是因為表面的液體分子受到單方面的內聚力或附著力遠小於內聚力所造成的結果(圖1)，設水的表面張力為γ，其中單位長度垂直向上的分量為$\gamma\cos\theta$，因此垂直向上的總作用力為$2\pi d\gamma\cos\theta$，其中為$\cos\theta = d/r$，所以向上總力又可寫成 $2\pi d^2\gamma/r$。

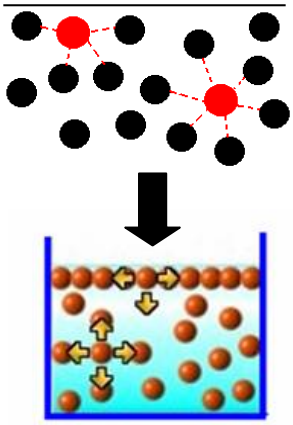


圖 1

水珠尚未滴落時，本身的重力必須克服它對液體輸出工具輸出端的張力才可以脫離，此時水珠不是圓形，因此以重力/表面張力之垂直向上總力

來表示兩者關係

$mg/2\pi d^2\gamma/r = mgr/2\pi d^2\gamma$

其中

r:為平均曲率半徑

g：重力加速度

d：水滴上端接觸橫向半徑

γ：表面張力

m：水滴質量

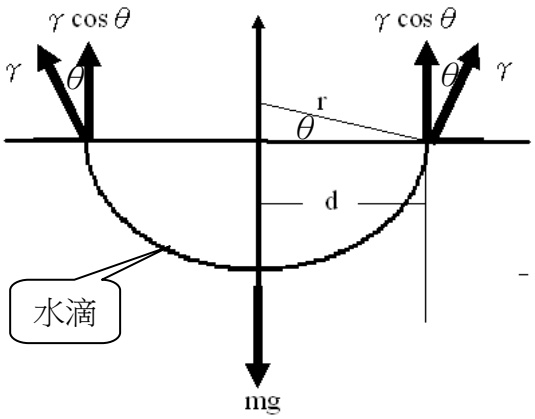


圖 2

肆、研究設備

數位相機(CANON EOS 附微距鏡)……1 台

數位攝影機(SONY SR11)……1 台

繪聲繪影與 photo impact 影像處理軟體……1 套

微量天平(AND FX-300i 準確至 0.001g)……1 台

蒸餾水(1000ml)……1 瓶

塑膠滴管……1 台

滴定管……1 支

針筒(10ml) ……1 支

點滴輸液管及流量調節輪……1 組

筆記型電腦……1 台

塑膠塗佈用奈米疏水劑……1 瓶

游標尺……1 支

伍、研究過程與結果分析

【實驗一】研究何種輸出液體工具所滴出的水滴體積均一性較高？

一、原由：本研究想了解日常生活中垂手可得的輸出液體工具中何者輸出的體積均一性較高且方便控制，以便作為往後實驗的的設備。

二、步驟：

(一)挑選滴定管、塑膠滴管、針筒、點滴輸液器等四種實驗室有的輸液裝置(如圖3)，將蒸餾水裝入這些裝置中，液體滴入微量天平(控制都在20秒內滴下1滴的速度)測量液體質量。

滴定管

塑膠滴管

針筒

點滴輸液器

圖 3 各種輸液工具

(二)每一種輸液裝置各測量20次質量，將質量數據除以1即為液體體積，取平均值。

(三)利用數位相機(附微距鏡)連拍水滴增大至掉落過程，利用相片取水滴變化過程中10次橫向最大直徑、最大直徑中心與底部距離、縱向高度等三項數據資料(如圖4)。

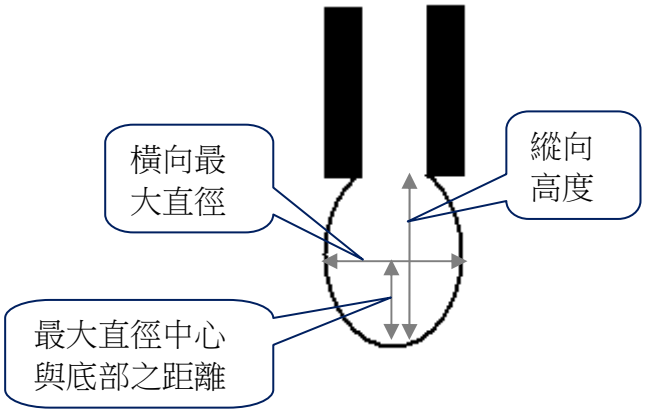


圖 4 水滴各項參數示意圖

(四)**水滴各項參數長度的測量皆利用影像分析軟體處理**，例如要測量水滴與出水口接觸距離，可採取下列步驟：

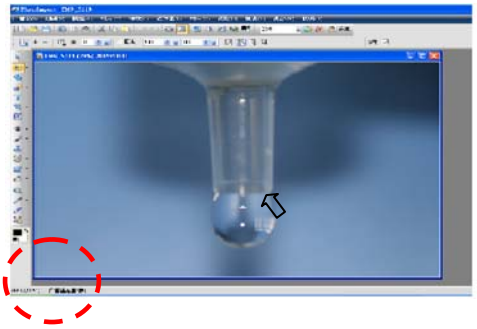


圖 5 影像分析軟體提供座標

1.利用photo impact軟體開啟照片檔案，再將游標移動至水滴與出口端接觸的兩端點，此時螢幕左下方會出現座標(如圖5)，記錄兩個測量點的座標差，再將游標移至出塑膠口兩端，再次記錄座標差。

2.接著使用游標尺測量實際塑膠口寬度，將上述的座標差，利用比例算出水滴與出水口接觸的實際長度。

三、結果：

(一)經20次實驗平均，詳細數據見附錄一。

表1 各種輸液工具滴出水滴數據

輸液工具 / 數據	滴定管	塑膠滴管	針筒(不含空氣)	針筒(含空氣)	點滴輸液器
平均(cm^3)	0.038	0.049	0.033	0.038	0.057
標準差	0.0006	0.0022	0	0.0015	0.0004

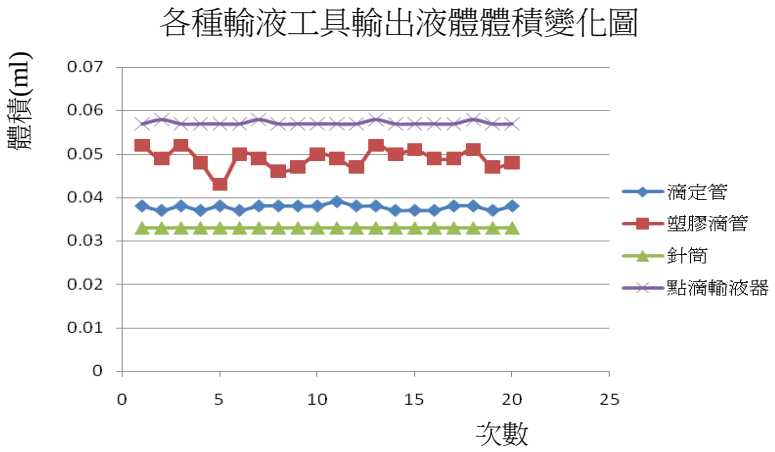


圖 6

(二)水滴的橫向最大直徑、最大直徑中心與底部距離、縱向高度等三項資料。

表2 水滴各項長度數據

	橫向最大直徑				最大直徑中心與底部距離				縱向高度			
輸液工具	點滴	滴管	針筒	滴定管	點滴	滴管	針筒	滴定管	點滴	滴管	針筒	滴定管
1	3.25	2.96	2.67	2.26	1.93	1.67	1.38	1.20	1.95	1.45	1.38	1.25
2	3.33	3.07	3.07	2.56	1.78	1.77	1.60	1.38	2.29	2.15	1.60	1.82
3	3.56	3.23	3.56	2.87	1.85	1.72	1.82	1.55	2.60	2.80	2.09	2.33
4	3.63	3.72	3.65	3.00	1.59	1.88	1.78	1.60	3.06	3.23	2.49	2.80
5	3.79	3.82	3.74	3.31	1.89	1.77	1.91	1.75	3.56	3.50	2.76	3.34
6	3.94	3.88	3.88	3.48	2.04	1.83	2.23	1.89	4.32	4.04	3.21	3.78
7	4.21	4.04	4.10	3.61	2.23	2.04	2.14	1.96	4.94	4.69	3.61	4.36
8	4.13	4.04	4.28	3.65	2.38	2.10	2.27	1.96	5.40	5.06	4.01	4.63
9	4.17	4.04	4.28	3.68	2.42	2.37	2.32	1.96	6.43	5.28	4.59	5.13
10	4.17	4.09	4.41	3.68	2.19	2.31	2.27	1.92	6.51	6.25	5.71	5.54
	以上單位為 mm											

四、分析與討論：

(一)由圖6可發現塑膠滴管的每一滴體積差異性最大，接著為滴定管，第三為點滴輸液器，最穩定為針筒。

(二)滴管的差異性最大的原因有可能為較不易控制流量大小所導致。針筒如果不含空氣則是四種內最穩定的液體輸出工具，如有空氣則均一性會降低，可能原因為空氣具可壓縮性因此造成壓力不均。

(三)雖然點滴輸液器的穩定性沒有針筒來的高，但由於可以控制流量大小，穩定

性又優異，因此往後的實驗我們皆以點滴輸液器作為輸出水的工具。

(五)將水滴的橫向最大直徑、最大直徑中心與底部距離、縱向高度、橫向最大直徑的二分之一除以最大直徑中心與底部距離，所得圖形7~10所示。

水滴增大過程最大直徑變化

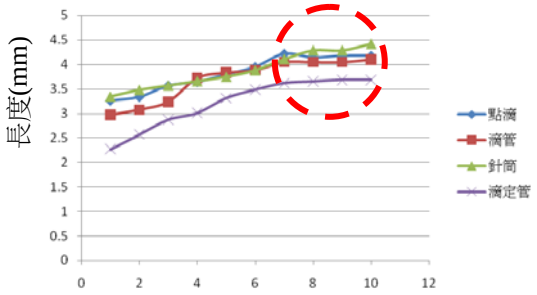


圖 7

水滴增大時最大直徑時圓心到底部之高度

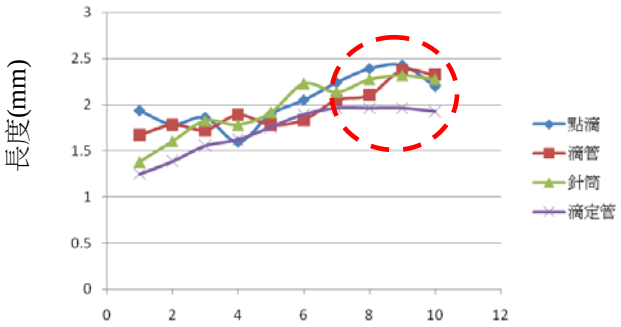


圖 8

水滴增大過程中縱向高度

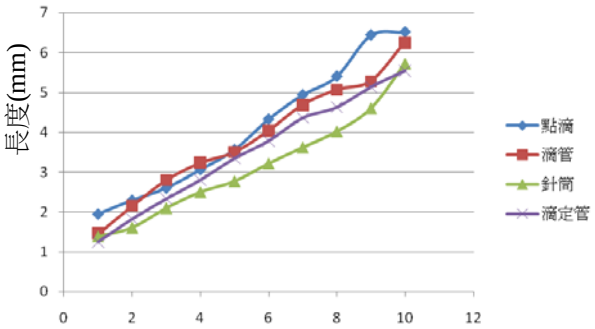


圖 9

水滴增大時最大直徑一半與圓心到底部高度比值

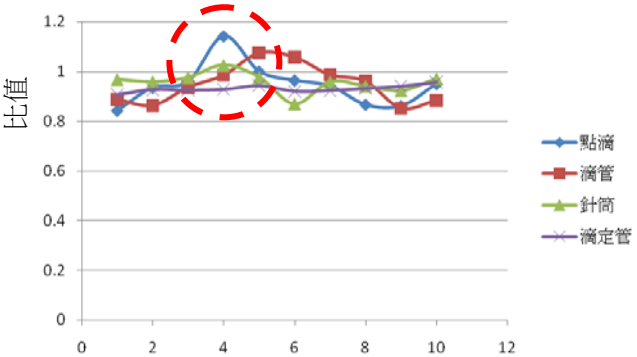


圖 10

1.由圖7發現水滴在出水口逐漸增大時其橫向最大直徑也會隨之增加，但到了最後幾乎會維持一定值。

2.圖8中最大直徑中心與底部距離會逐漸增加，但到了最後會下降，此現象應是水滴重量達表面張力的最大極限時，水滴仍持續往下衝擊，因此底部的水彈性內縮，給與向上回彈。

3.水滴在出水口逐漸增大時其橫向高度也逐漸增加(圖9)；另外，圖10為橫向最大直徑的二分之一除以最大直徑中心與底部距離的比值，兩者之比值約在水滴增大過程中會有兩個時間點接近1，亦即在此兩時間點下半部較接近圓形。

4.水滴在出水口一開始因體積較小且在表面張力作用下，迫使水滴縱向高度小

於橫向直徑；到了一半時，因重力增加使得縱向高度接近橫向直徑，此時下半部會很接近圓形；接著因重力持續增大，縱向高度會大於橫向直徑，這時會比較像橢圓。

【實驗二】探討輸出液體工具出口端平整度、傾斜、斜口、尖口、曲線與厚度是否影響輸出體積？

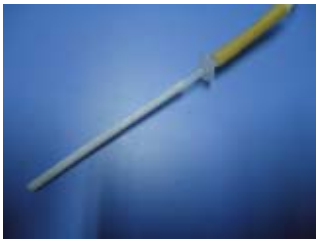
實驗2-1　出口端平整度

一、原由：由於出口端有可能在裁切實出現毛邊或不平整的邊緣，我們想了解這樣的邊緣會不會影響液體輸出時的體積？

二、步驟：

(一)因為點滴輸液器的輸出端為材質較硬的塑膠(如圖11)，因此如要切出我們需要的形狀會較為困難，因此我們將點滴輸液器的輸出端套上與直徑接近的吸管，以方便裁切出各種形狀。

點滴輸液器的端口



端口改接吸管

圖 11

(二)利用剪刀將套在點滴輸液器輸出端的吸管剪成鋸齒狀，測量輸出體積。

(三)利用剪刀先將吸管剪成平口，但刻意留有毛邊再測量輸出液體之體積。

三、結果：

經20次實驗平均，詳細數據見附錄二。

表3 出口有鋸齒、毛邊時水滴體積數據

端口處理 / 數據	切平	鋸齒	有毛邊
平均(cm^3)	0.061	0.060	0.058
體積改變率		1.639%	4.918%
標準差	0.0003	0.0003	0.0003

出口端有毛邊、不平整數據圖

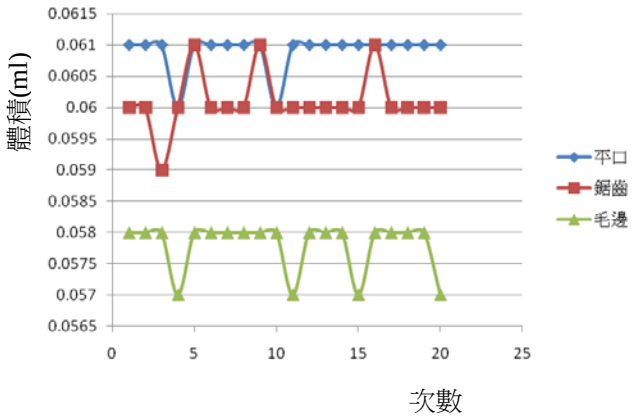


圖 12

四、分析與討論

(一)由圖12可發現到鋸齒狀與毛邊的輸出端口，所輸出的液體積將會比平整時來得小一些，但是差異並不大。

(二)有毛邊的輸出端口的體積改變率為鋸齒狀的三倍，可見有毛邊的出口對於破壞水的表面張力效果較大，使得能承受的重量減少，因而使輸出的體積下降幅度較大。

(三)為了解有毛邊的輸出端口的體積改變率為何較大，利用數位攝影機拍攝出水情況，擷取相片後發現(如圖13所示)，左側有毛邊處水滴形狀變得較平緩，右側曲率較大接近圓形，整個水滴有往右偏的跡象，另外在正常情況下水滴兩邊為對稱且不為圓形而為類似拋物線(如圖14所示)。

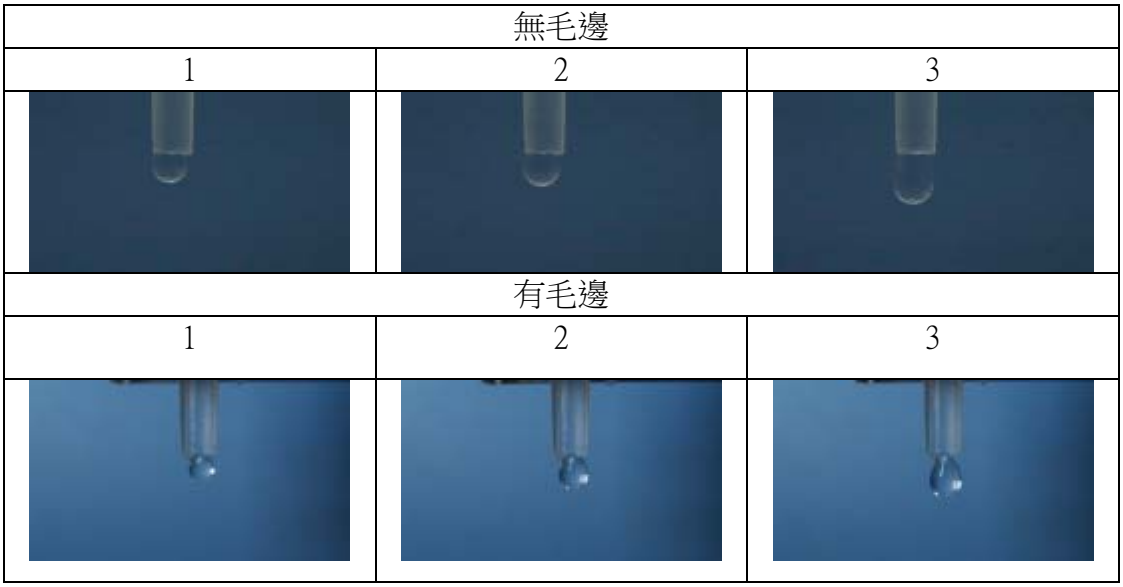


圖 13

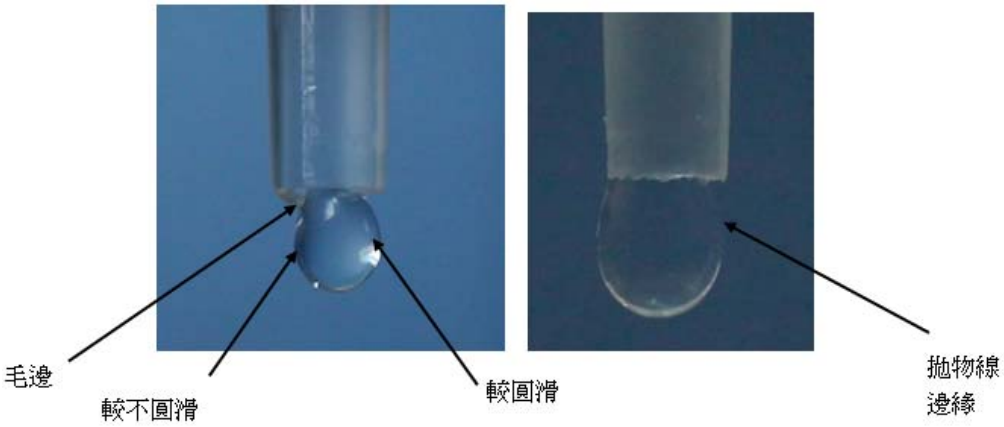


圖 14

實驗2-2　出口端傾斜

一、原由：由於輸出水時出口端有可能並不處在鉛垂狀態，因此我們想了解出口端傾斜時會不會影響液體輸出時的體積？

二、步驟：

將點滴輸液器的出口端由鉛垂方向逐漸往水平方向傾斜(俯角會愈來愈小，如圖15所示)，固定並控制流量調節輪位置，測量液體質量20次取平均值。

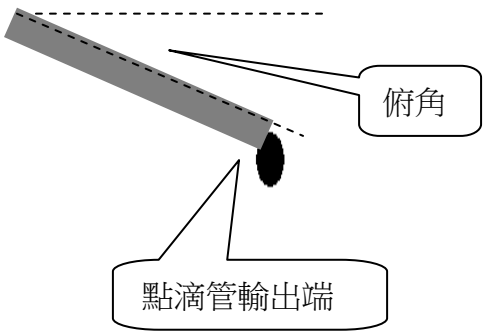


圖 15 輸出端傾斜示意圖

三、結果：

經20次實驗平均，詳細數據見附錄三。

表4 出口端傾斜時水滴體積數據

俯角角度 / 數據	90度 鉛垂	75度	60度	45度	30度	15度	0度水平
平均(cm^3)	0.061	0.059	0.057	0.053	0.048	0.038	0.032
體積改變率		3.279%	6.557%	13.115%	21.311%	37.705%	47.541%
標準差	0.0003	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003

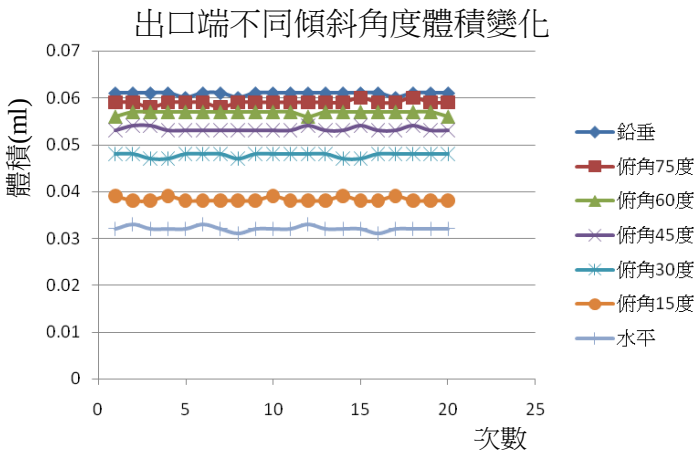


圖 16

四、分析與討論

(一)由圖16發現當出口端由鉛垂方向逐漸往水平方向傾斜時，所滴出的液體體積也跟著變小，而且在水平時所輸出的體積竟然約為鉛垂方向的一半，此現象的主要原因為出口端傾斜後在鉛直方向的有效接觸直徑變小(圖17)，導致表張力垂直向上總力降低。

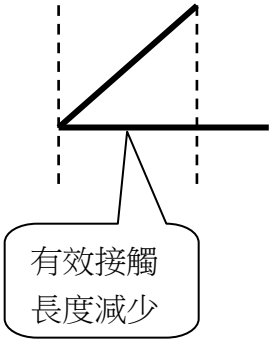


圖 17

(二)由於輸出的液體變化率比起前面幾次實驗都來的大，因此使用數位攝影機錄下，發現出口端傾斜時，兩側水滴的曲率半徑不同(圖18所示)，主要是因右方重力導致。

出口端傾斜		
1	2	3

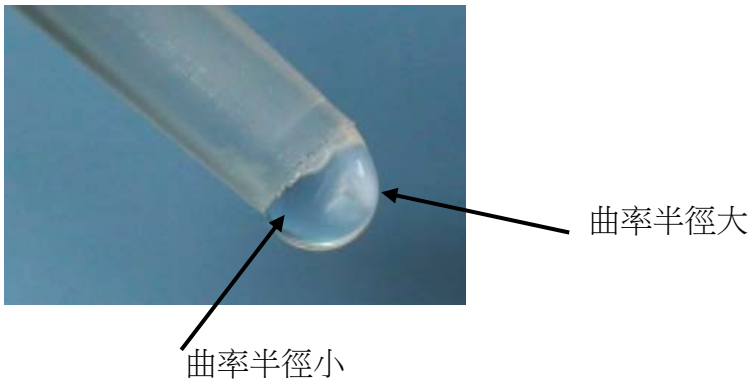


圖 18

(三)當出口端為水平時(圖19)，體積的減少量竟然接近50%，代表水一出端口便由於接觸點相當小，約只有原來的一半，因此向上力大大降低，於是很快就往下降，雖然會接觸到下方的邊緣，但因為重力加速度的原故，水滴一下子就往下掉落而無法附在邊緣處，在此重力的影響變得很顯著，所以會以很小的體積下落。

出口端水平		
1	2	3

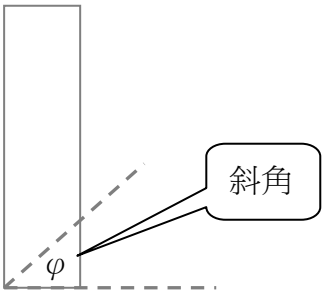
圖 19 出口端水平

實驗2-3　出口端為斜口、尖口或曲線

一、目的：由於出口端的外形有可能為斜口、尖口或有曲度，因此我們想了解這樣的邊緣會不會影響液體輸出時的體積。

二、步驟：

(一)斜口：利用量角器將點滴輸液器出口分別量出斜角 φ 為15、30、45、60、75等五種不同的斜口(如圖20)並裁切，並逐一將液體一滴一滴滴入微量天平，測量液體質量共20次再取平均值。



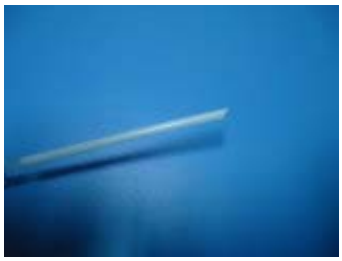


圖 20 出口端斜口

(二)尖口：利用剪刀將點滴輸液器出口剪出尖口的形狀(如圖21)，讓中間的角度 θ 分別為30、60、90、120、150度，測量液體質量共20次再取平均值。

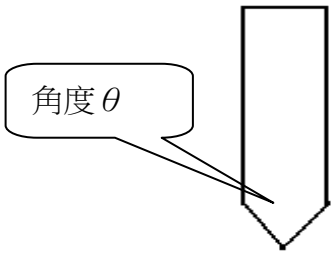


圖 21 出口端尖口

(三)曲線：利用剪刀將點滴輸液器出口剪出拋物線，一為彎向上，一為彎向下(如圖22)，將液體滴入微量天平，測量液體質量共20次再取平均值。

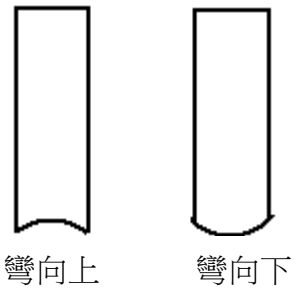


圖 22 出口端曲線

三、結果

(一)出口端為斜口：經20次實驗平均，詳細數據見附錄四。

表5 出口端斜口時水滴體積數據

斜口角度 / 數據	平口	15度	30度	45度	60度	75度
平均(cm^3)	0.061	0.060	0.059	0.058	0.056	0.055
體積變化率		1.639%	3.226%	4.918%	8.197%	9.836%
標準差	0.0003	0.0005	0.0003	0.0003	0.0005	0.0003

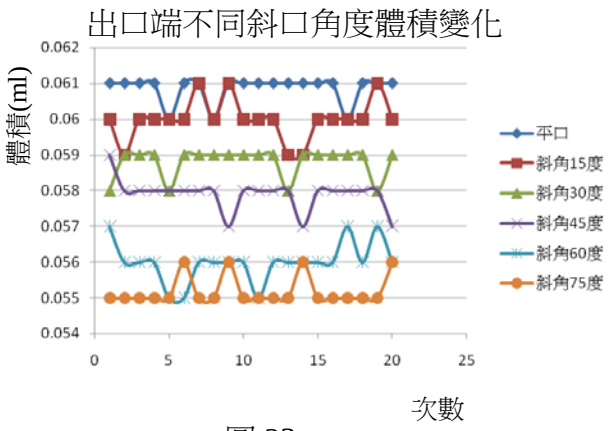


圖 23

(二) 出口端為尖口：經20次實驗平均，詳細數據見附錄五。

表6 出口端為尖口時水滴體積數據

尖口角度 / 數據	平口	30度	60度	90度	120度	150度
平均(cm^3)	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
體積變化率		0%	0%	0%	0%	0%
標準差	0.0003	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004

(三) 出口端為曲線：經20次實驗平均，詳細數據見附錄六。

表7 出口端為曲線形時水滴體積數據

曲線情況 / 數據	平口	彎向上	彎向下
平均(cm^3)	0.061	0.061	0.061
體積變化率	0%	0%	0%
標準差	0.0003	0.0004	0.0004

四、分析與討論

(一)圖24為出口端斜口之時序圖，斜口時會形成左右兩側不對稱的情況，形成不完整的水滴形狀，圖25為放大圖，圖中的右側體積較左側大，亦即右側較重，故在重力的作用下會使右側提早脫離接觸面而往左側移動，由於水滴下滑時有下滑力與摩擦力，此時下滑力大於摩擦力，因此水滴便沿著斜面移動下滑，使能負荷的重量減少，所以會以較小的體積落下。

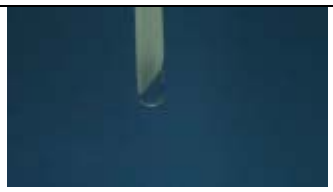
出口端斜口		
1	2	3
		

圖 24 出口端斜口水滴時序圖

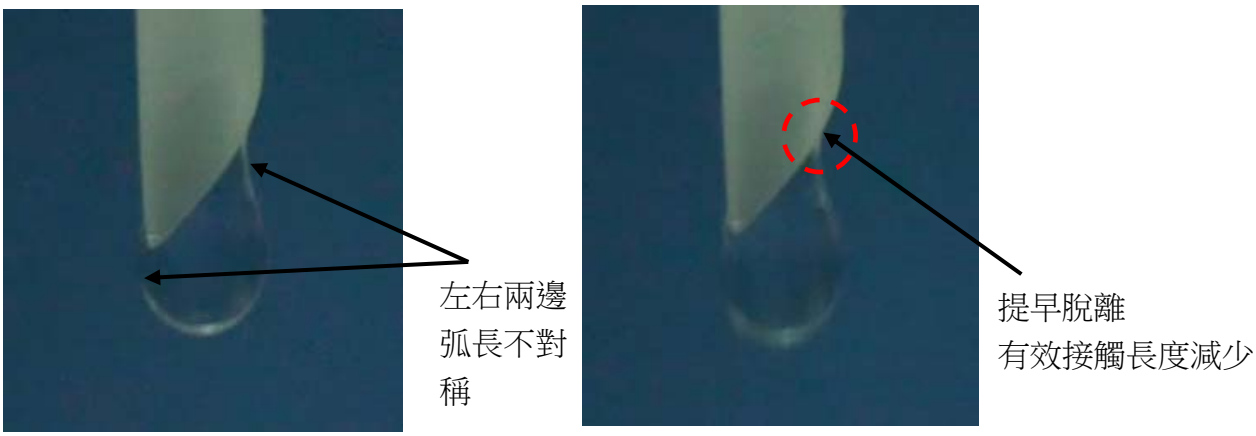


圖 25 出口端斜口水滴局部放大圖

(二)我們發現不同斜口角度水滴脫離位置並不同，因此再深入探討：

1.將水滴滴下前的影像摘錄下來，我們定義水滴脫離點為弧形的最頂端處(如圖26所示)。並將脫離點與斜長的關係如圖27所示。

2.分析影像得知，角度小時脫離點離上端口較近，角度增大脫離點會離上端口較遠 (如圖28)。

3.將脫離點到低點長度除以斜長數據如表8所示，將水滴實際脫離點與斜口相關位置繪出(圖29)，其中紅色典代表各角度時的脫離點，由數據可發現斜口角度愈大時脫離點會往斜長的中央點移動。

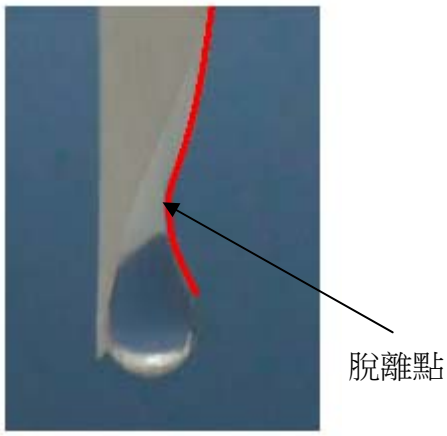


圖 26

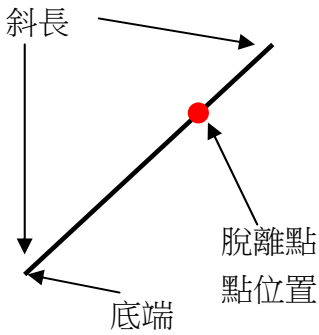


圖 27

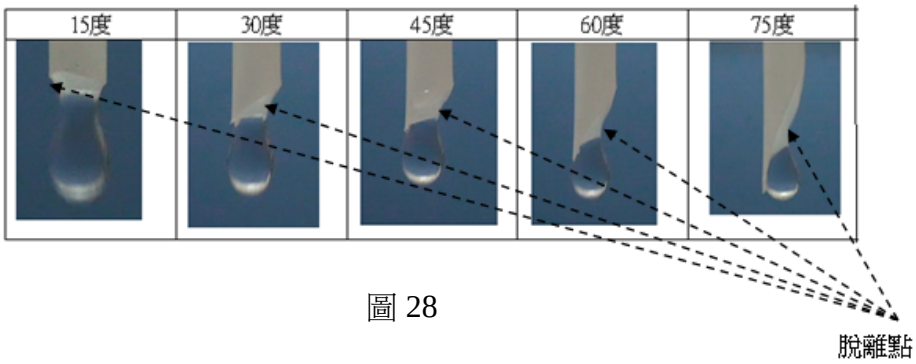
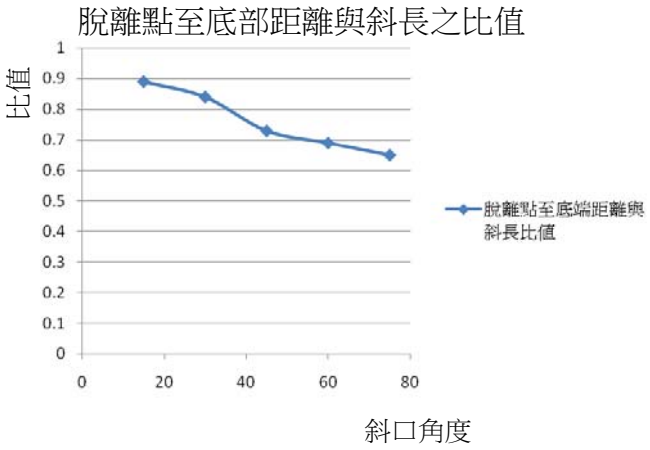


圖 28

表8　斜口時水滴脫離點到低點長度/斜長 比值數據

斜口角度	脫離點到低點長度/斜長
15	0.892
30	0.843
45	0.733
60	0.691
75	0.656



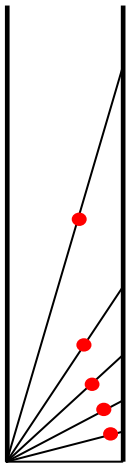
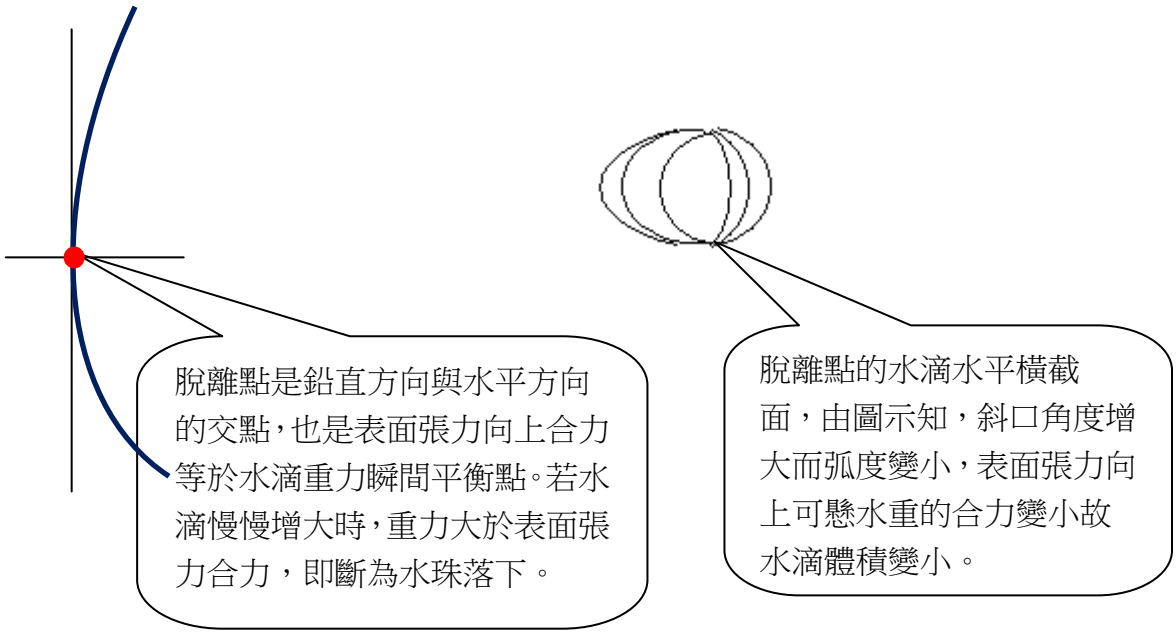


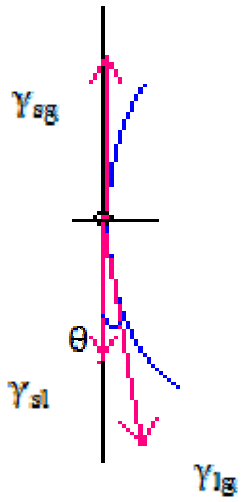
圖 29

4.



為了解脫離點所代表的物理意義，我們找到楊氏方程式

$\gamma_{lg}\cos\theta = \gamma_{sg} - \gamma_{sl}$　其中 θ 為鉛直方向與水滴曲線之切線的夾角



再根據二維橫向縱切面，考慮水滴的重力與表面張力之作用結果，則表面張力在斜口脫離點位置之作用可寫成

$\gamma(\theta) = \gamma_o\cos\theta + \varepsilon\tan\theta/a$

a：滴管內徑

γ_0：鄰近物質單一時。$c/a = \gamma_0$

此方程式代表向上的表面張力包含兩個分量，一為表面張力拉流體呈現最小表面積之力 $\gamma_o\cos\theta$ 與表面張力向上平衡重力之力 $\varepsilon\tan\theta/a$

(三) 出口端為尖口或曲線並不影響輸出液體的體積，因兩端為對稱，代表有效的接觸長度一樣的情況下，附著力也會相同(斜口除外)。

實驗2-4　出口端厚度

一、目的：由於水滴在出口端會與材料接觸，而材料是有一厚度(實際而言就是面積大小)，我們想了解材料的厚度是否會影響液體輸出時的體積。

二、步驟：由於點滴輸液器的出口端為材質較硬的塑膠，如果想改變其厚度有相當大的困難，因此我們想到利用金屬加工的車床切削工具加以協助，由於原本的厚度並不是很厚，因此我們只將硬塑膠切削成3種內徑皆相同但不同厚度的端口(圖30)，並將液體滴入微量天平，測量液體質量。

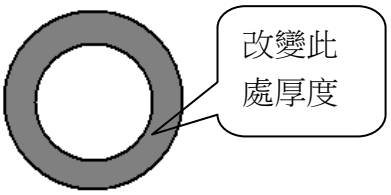


圖 30　出口端厚度

三、結果：經20次實驗平均，詳細數據見附錄七。

表9 出口端厚度不同時水滴體積數據

邊寬厚度 / 數據	0.90mm	0.76mm	0.60mm
平均(cm^3)	0.061	0.060	0.058
體積改變率		1.639%	4.918%
標準差	0.0003	0.0003	0.0004

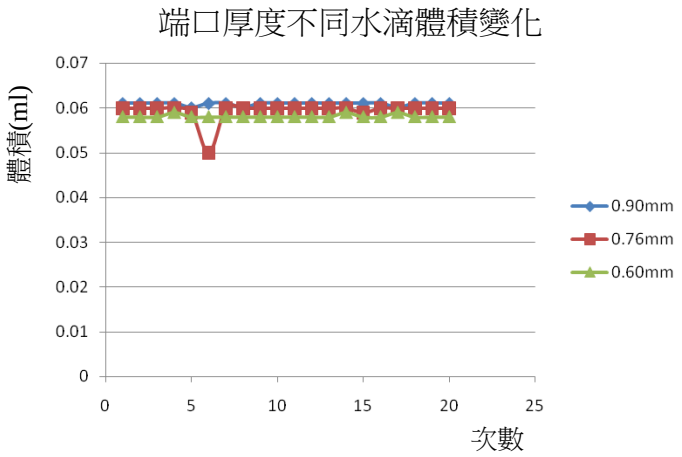


圖 31

四、分析與討論

(一)由圖31得知，當厚度變薄時，由於水能接觸材料的最大長度減少，使得附著力跟著降低，因此會以較小體積下落。

(二)原本的設計是希望能利用金屬切削工具車出五種不同厚度的出口端，但由於原始的厚度變不是很厚，因此在切削時很容易削破，所以只用三種不同厚度加以比較。

【實驗三】研究出口端疏水性不同時是否影響輸出體積？

一、目的：由於水在出口端時會與塑膠材質接觸，如果將此塑膠材質的疏水性增強，讓它排斥水的能力變大，則這樣的介面會不會影響液體輸出時的體積呢？

二、步驟：

將點滴輸液器(同口徑中的其中一個)輸出管端點塗上塑膠用的奈米疏水劑，將其烘乾靜置，並逐一將液體一滴一滴滴入微量天平，測量液體質量，與未處理過的輸出管比較。

三、結果：經20次實驗平均，詳細數據見附錄八。

表10 出口端疏水性不同時水滴體積數據

疏水性 / 數據	一般	強
平均(cm^3)	0.061	0.048
體積改變率		21.311%
標準差	0.0003	0.0005

四、分析與討論

(一))圖32為兩種不同疏水性出口端水滴時序圖之比較，發現疏水強時水滴的形狀較接近圓形而且出口出的邊緣也沒有水附著，主要原因為當疏水性強時，此時表面張力就特別凸顯出來，因此水滴會較圓(圖33)。

(二) 輸水端的出口處如果塗上疏水劑則會使水滴與塑膠間的接觸長度減少，因此會與較小的體積下落，而且體積相差約1/5。

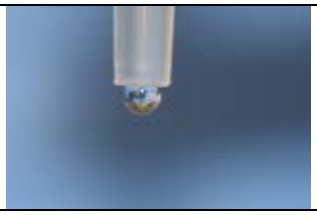
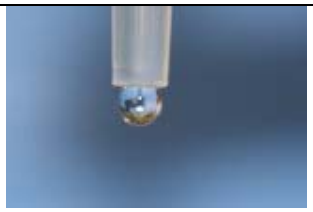
疏水性一般	疏水性強
1	1
	
2	2
	

圖 32 疏水性不同比較

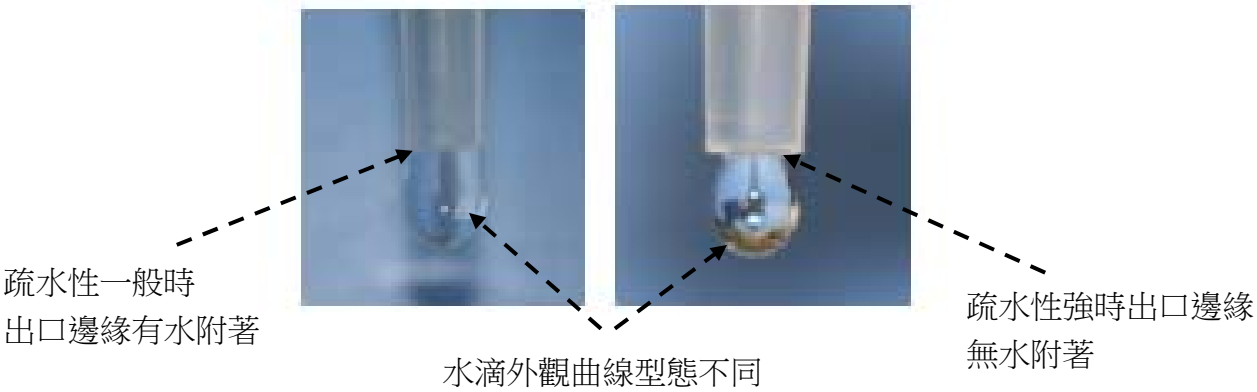


圖 33 出口處疏水性放大圖

【實驗四】研究輸出液體工具之流量大小是否影響輸出液體？

一、目的：由於利用點滴輸液器有一個優點，即為可控制與改變流量大小，因此我們想了解流量改變時，液體輸出時的體積是否也會跟著改變？

二、步驟：

(一)控制點滴輸液器的流量調節輪，改變5種不同的輸出的液體速度(亦即改變流量，方法為測量10分鐘內所收集到的水量，再換算每一分鐘的水流量)。

(二)依序分別將不同流量的水滴滴入微量天平，測量液體質20次，取平均值。

三、結果：經20次實驗平均，詳細數據見附錄九。

表11 流量不同時水滴體積數據

流量大小 / 數據	0.24克/分	0.58克/分	0.89克/分	1.12克/分	1.51克/分
平均(cm^3)	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053
體積改變率		2.083%	4.167%	6.250%	10.417%
標準差	0.0004	0.0008	0.0004	0.0004	0.0004

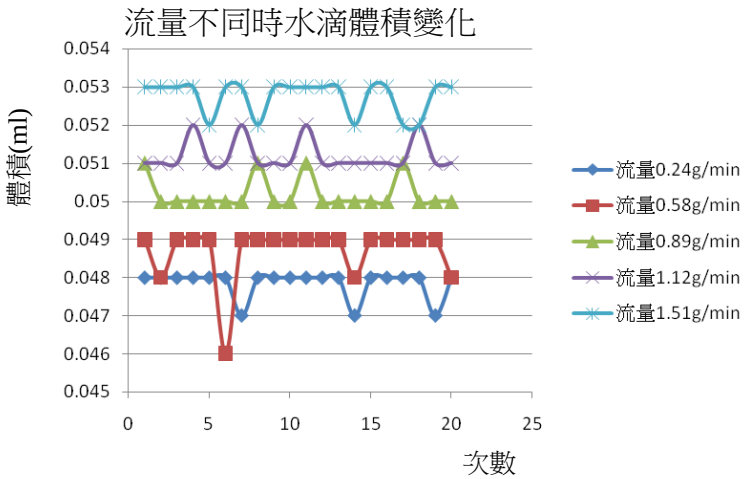


圖 34

四、分析與討論：

(一)圖34發現流量愈大，水滴之體積會愈大，可能原因為點滴輸液器是藉由重力使液體輸出，流量小代表水滴在出口處形成可掉落的狀態需時較久，故因此水流動所引發的衝擊力會較低，故水滴表面張力的影響會較顯著。

(二)如水流量大則會因水流動所導致的衝擊力變強且表面張力的影響會減弱，再加上重力加速度之因素，導致會有過量的水被往下帶，使得下落的體積變大。

【實驗五】藉由所推導的理論公式與實際測量求重力/表面張力之垂直向上總力之值

一、目的：由於在原理探討中我們認為影響水滴下落主要是由重力與表面張力的垂直向上總力決定，因此所得 **重力/表面張力之垂直向上總力** 之比值 $mgr/2\pi d^2\gamma$ 便可代表水滴在各種形態時兩力之比較，故想藉由實際測量的數據加以驗證水滴逐漸變大過程重力與表面張力彼此之間有何關聯？

二、步驟：

(一)控制滴定管調節輪使得液體在一分鐘內只滴下一滴(每一秒鐘約增加0.001公克，目的在於非常緩慢增加，以方便記錄與拍攝)。

(二)利用數位攝影機記錄出口端水滴，將拍攝的影像如同實驗一的步驟四做法，使用影像分析軟體的座標數據分析水滴的d、r。

(三)**本次實驗並未將水滴落下，因此無法得知在出水口處水的質量，因此我們逆向操作，將原本用於測量落下水滴質量的微量天平改置於上端水源處，當水逐漸流出時，水源處的質量會逐漸減少，而減少的水便會出現在出水口，所以利用此方法可以求得m。**

(四)控制形成水滴需時1分鐘，再利用步驟三的方式每隔4秒記錄微量天平的數據，亦即每隔約6秒鐘紀錄一次減少的水質量數據。

(五)將m、d、r帶入公式中，其中水的表面張力取70mN/m(攝氏20度)，計算重力與表面張力之垂直向上總力之比值。

三、結果

表 12 水滴增大過程重力與表面張力之垂直向上總力之比值

	m(g)	d(mm)	r(mm)	重力與表面張力之垂直向上總力之比值	備註
1	0.009	0.82	2.32	0.658	開始有水
2	0.016	1.86	2.38	0.222	
3	0.022	1.92	2.41	0.290	
4	0.029	1.93	2.43	0.365	
5	0.035	1.93	2.45	0.462	
6	0.041	1.93	2.48	0.542	
7	0.048	1.93	2.51	0.687	
8	0.058	1.93	2.71	0.894	
9	0.065	1.93	2.71	1.002	即將落下

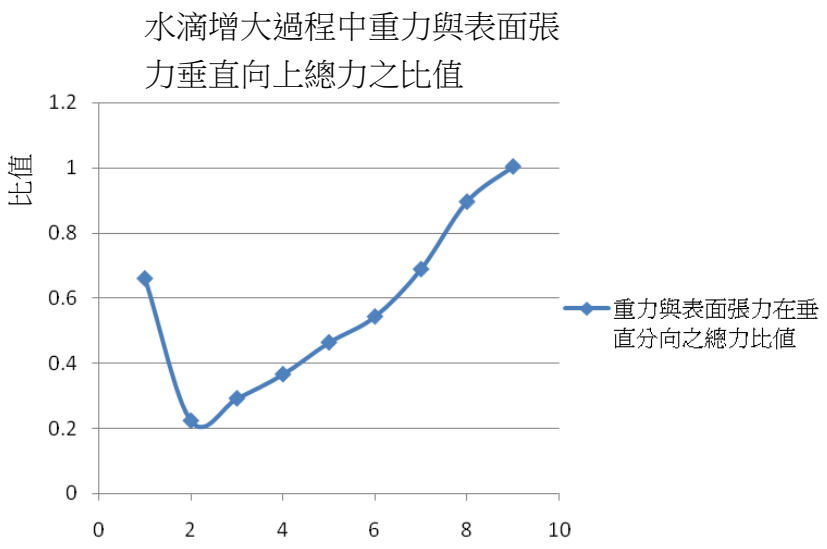


圖 35

四、分析

(一)由圖35可發現此比值先降後升，代表水開始出現在出口時表面張力大於重力，但隨水量增加時，接觸的周長迅速增加使得表面張力在垂直向上總力大幅提升，因此比值下降。

(二)隨後由於出口端寬度之限制，使得水與出口端接觸長度始終保持定值(此時表面張力在垂直向上總力維持定值)，這時因重量增加使得比值隨之升高，到了接近掉落前比值約為1，代表這時候水的重量已經可以克服表面張力的垂直向上總力。

(三)**由於第8~9次的數據較接近1，因此再針對此範圍分析，分析結果如圖36所示，代表水滴在接近落下前，重力與表面張力之垂直向上總力會相當接近，亦即水滴落下的主要是由這兩個力量來決定。**

表 13 水滴接近落下前重力與表面張力之垂直向上總力之比值

	m(g)	d(mm)	r(mm)	重力與表面張力之垂直向上總力之比值	備註
1	0.058	1.93	2.71	0.894	
2	0.060	1.93	2.71	0.925	
3	0.062	1.93	2.71	0.956	
4	0.064	1.93	2.71	0.986	
5	0.065	1.93	2.71	1.002	

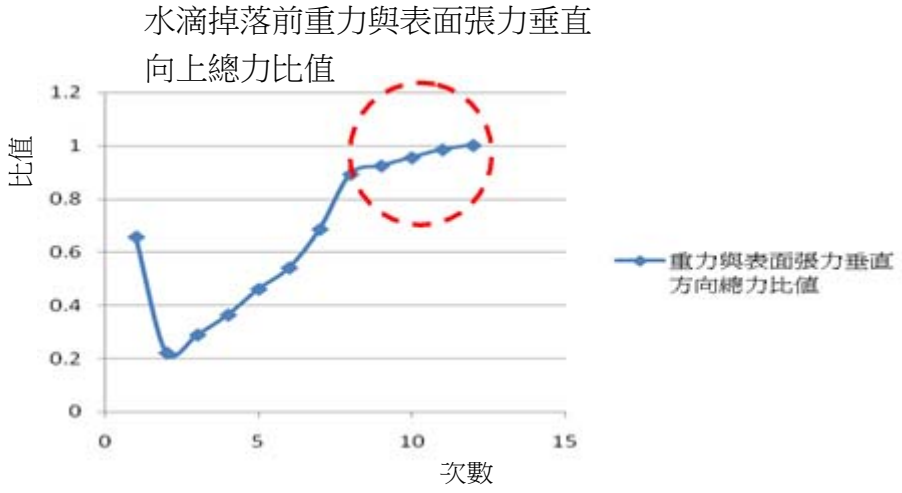


圖 36

陸、結論

(一)塑膠滴管的每一滴體積差異性最大，接著為滴定管，第三為點滴輸液器，最穩定為針筒(無空氣時)。

(二)水滴在出水口逐漸增大時它的下緣處會有兩個時間點接近圓形，且在最後接近滴下時底部水滴會彈性往內縮。

(三)有毛邊會破壞水的表面張力，使輸出的體積下降。出口端由鉛垂方向逐漸往水平方向傾斜時，重力會導致兩側水滴的曲率半徑不同，水平口輸出體積大約為垂直時的1/2。

(四)出口端為斜口時，水脫離點會往斜長中央點移動，有效的接觸長度下降，會以較小的體積落下。出口端厚度變薄時，由於接觸長度減少，使得附著力降低，因此會以較小體積下落。

(五) 當水流量大時，因重力加速度因素，會有過量的水被往下帶，下落液滴的體積變大；當出口處疏水性較強時，水滴的形狀較接近圓形而且出口端的邊緣也沒有水附著，會輸出較小的水滴。

(六)液滴重力與表面張力之垂直向上總力的比值會先降後升，表示開始時表面張力大於重力，但隨水量增加時接觸的周長迅速增加使得表面張力在垂直向上的總力大幅提升。隨後由於水與出口端接觸長度始終保持定值，因重量持續增加使得比值隨之升高到了接近滴下前，比值約為 1，代表此時重量恰與表面張力鉛直向上總力相等，完美的水珠形成並落下。

柒、參考資料

【1】http://ask.kedo.gov.cn/bkwd/lhtd/257995.shtml 為什麼同一根滴管出來的液滴大小基本上是一樣？

【2】音顯角炸，第50屆全國科學，高中組物理科，作者：章敏、周芷瑜、黃嬿蓉、成力揚。

【3】高中物理(民98)。台南：南一文書局企業有限公司。

【4】朱邦彥(民86)。奪標高中物理(二)。新竹市：書鋒。

【5】網開一面—水光織焦的探討，第50屆全國科展，高中組物理科，作者：王子嘉、林琬婷、賈斯嘉、魏敏家。

【6】被忽略的神秘力量—表面張力，第44屆全國展，國中組物理科，作者：吳尹傑、吳振華、洪鶴祐、林達。

捌、附錄

附錄一：各種輸液工具滴出水滴數據

輸液工具 / 數據(cm^3)	滴定管	塑膠滴管	針筒(不含空氣)	針筒(含空氣)	點滴輸液器
1	0.038	0.052	0.033	0.038	0.057
2	0.037	0.049	0.033	0.035	0.058
3	0.038	0.052	0.033	0.040	0.057
4	0.037	0.048	0.033	0.040	0.057
5	0.038	0.043	0.033	0.039	0.057
6	0.037	0.050	0.033	0.038	0.057
7	0.038	0.049	0.033	0.038	0.058
8	0.038	0.046	0.033	0.039	0.057
9	0.038	0.047	0.033	0.035	0.057
10	0.038	0.050	0.033	0.038	0.057
11	0.039	0.049	0.033	0.039	0.057
12	0.038	0.047	0.033	0.040	0.057
13	0.038	0.052	0.033	0.038	0.058
14	0.037	0.050	0.033	0.035	0.057
15	0.037	0.051	0.033	0.036	0.057
16	0.037	0.049	0.033	0.038	0.057
17	0.038	0.049	0.033	0.038	0.057
18	0.038	0.051	0.033	0.039	0.058
19	0.037	0.047	0.033	0.037	0.057
20	0.038	0.048	0.033	0.037	0.057
平均	0.038	0.049	0.033	0.038	0.057
標準差	0.0006	0.0022	0	0.0015	0.0004

附錄二：出口有鋸齒、毛邊時水滴體積數據

端口處理 數據(cm^3)	切平	鋸齒	有毛邊
1	0.061	0.060	0.058
2	0.061	0.060	0.058
3	0.061	0.059	0.058
4	0.060	0.060	0.057
5	0.061	0.061	0.058
6	0.061	0.060	0.058
7	0.061	0.060	0.058
8	0.061	0.060	0.058
9	0.061	0.061	0.058
10	0.060	0.060	0.058
11	0.061	0.060	0.057
12	0.061	0.060	0.058
13	0.061	0.060	0.058
14	0.061	0.060	0.058
15	0.061	0.060	0.057
16	0.061	0.061	0.058
17	0.061	0.060	0.058
18	0.061	0.060	0.058
19	0.061	0.060	0.058
20	0.061	0.060	0.057
平均	0.061	0.060	0.058
體積改變率		1.639%	4.918%
標準差	0.0003	0.0003	0.0003

附錄三：出口端傾斜時水滴體積數據

俯角角度 數據(cm^3)	90度 鉛垂	75度	60度	45度	30度	15度	0度水平
1	0.061	0.059	0.056	0.053	0.048	0.039	0.032
2	0.061	0.059	0.057	0.054	0.048	0.038	0.033
3	0.061	0.058	0.057	0.054	0.047	0.038	0.032
4	0.061	0.059	0.057	0.053	0.047	0.039	0.032
5	0.060	0.059	0.057	0.053	0.048	0.038	0.032
6	0.061	0.059	0.057	0.053	0.048	0.038	0.033
7	0.061	0.058	0.057	0.053	0.048	0.038	0.032
8	0.060	0.059	0.057	0.053	0.047	0.038	0.031
9	0.061	0.059	0.057	0.053	0.048	0.038	0.032
10	0.061	0.059	0.057	0.053	0.048	0.039	0.032
11	0.061	0.059	0.057	0.053	0.048	0.038	0.032
12	0.061	0.059	0.056	0.054	0.048	0.038	0.033

13	0.061	0.059	0.057	0.053	0.048	0.038	0.032
14	0.061	0.059	0.057	0.053	0.047	0.039	0.032
15	0.061	0.060	0.057	0.054	0.047	0.038	0.032
16	0.061	0.059	0.057	0.053	0.048	0.038	0.031
17	0.060	0.059	0.057	0.053	0.048	0.039	0.032
18	0.061	0.060	0.057	0.054	0.048	0.038	0.032
19	0.061	0.059	0.057	0.053	0.048	0.038	0.032
20	0.061	0.059	0.056	0.053	0.048	0.038	0.032
平均	0.061	0.059	0.057	0.053	0.048	0.038	0.032
體積改變率		3.279%	6.557%	13.115%	21.311%	37.705%	47.541%
標準差	0.0003	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003

附錄四：出口端斜口時水滴體積數據

斜口角度 / 數據(cm^3)	平口	15度	30度	45度	60度	75度
1	0.061	0.060	0.058	0.059	0.057	0.055
2	0.061	0.059	0.059	0.058	0.056	0.055
3	0.061	0.060	0.059	0.058	0.056	0.055
4	0.061	0.060	0.059	0.058	0.056	0.055
5	0.060	0.060	0.058	0.058	0.055	0.055
6	0.061	0.060	0.059	0.058	0.055	0.056
7	0.061	0.061	0.059	0.058	0.056	0.055
8	0.060	0.060	0.059	0.058	0.056	0.055
9	0.061	0.061	0.059	0.057	0.056	0.056
10	0.061	0.060	0.059	0.058	0.056	0.055
11	0.061	0.060	0.059	0.058	0.055	0.055
12	0.061	0.060	0.059	0.058	0.056	0.055
13	0.061	0.059	0.058	0.058	0.056	0.055
14	0.061	0.059	0.059	0.057	0.056	0.056
15	0.061	0.060	0.059	0.058	0.056	0.055
16	0.061	0.060	0.059	0.058	0.056	0.055
17	0.060	0.060	0.059	0.058	0.057	0.055
18	0.061	0.060	0.059	0.058	0.056	0.055
19	0.061	0.061	0.058	0.058	0.057	0.055
20	0.061	0.060	0.059	0.057	0.056	0.056
平均	0.061	0.060	0.059	0.058	0.056	0.055
體積變化率		1.639%	3.226%	4.918%	8.197%	9.836%
標準差	0.0003	0.0005	0.0003	0.0003	0.0005	0.0003

附錄五：出口端為尖口時水滴體積數據

尖口角度 / 數據(cm^3)	平口	30度	60度	90度	120度	150度

1	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
2	0.061	0.060	0.060	0.061	0.061	0.061
3	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.060
4	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
5	0.060	0.060	0.060	0.061	0.060	0.061
6	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
7	0.061	0.061	0.060	0.061	0.061	0.061
8	0.060	0.061	0.061	0.061	0.060	0.060
9	0.061	0.060	0.061	0.061	0.061	0.061
10	0.061	0.060	0.061	0.060	0.061	0.061
11	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
12	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
13	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
14	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.060
15	0.061	0.061	0.061	0.061	0.060	0.060
16	0.061	0.060	0.061	0.061	0.061	0.061
17	0.060	0.061	0.061	0.060	0.060	0.061
18	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
19	0.061	0.060	0.060	0.061	0.061	0.060
20	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
平均	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
體積變化率		0%	0%	0%	0%	0%
標準差	0.0003	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004

附錄六：出口端為曲線形時水滴體積數據

曲線情況 數據(cm^3)	平口	彎向上	彎向下
1	0.061	0.061	0.061
2	0.061	0.061	0.061
3	0.061	0.060	0.061
4	0.061	0.061	0.061
5	0.060	0.061	0.061
6	0.061	0.061	0.061
7	0.061	0.061	0.061
8	0.060	0.061	0.060
9	0.061	0.061	0.061
10	0.061	0.061	0.061
11	0.061	0.061	0.061
12	0.061	0.060	0.060
13	0.061	0.061	0.061
14	0.061	0.061	0.061
15	0.061	0.061	0.060
16	0.061	0.061	0.061
17	0.060	0.061	0.061
18	0.061	0.061	0.060

19	0.061	0.060	0.061
20	0.061	0.061	0.061
平均	0.061	0.061	0.061
體積變化率	0%	0%	0%
標準差	0.0003	0.0004	0.0004

附錄七：出口端厚度不同時水滴體積數據

邊寬厚度 數據	0.90mm	0.76mm	0.60mm
1	0.061	0.060	0.058
2	0.061	0.060	0.058
3	0.061	0.060	0.058
4	0.061	0.060	0.059
5	0.060	0.059	0.058
6	0.061	0.060	0.058
7	0.061	0.060	0.058
8	0.060	0.060	0.058
9	0.061	0.060	0.058
10	0.061	0.060	0.058
11	0.061	0.060	0.058
12	0.061	0.060	0.058
13	0.061	0.060	0.058
14	0.061	0.060	0.059
15	0.061	0.059	0.058
16	0.061	0.060	0.058
17	0.060	0.060	0.059
18	0.061	0.060	0.058
19	0.061	0.060	0.058
20	0.061	0.060	0.058
平均	0.061	0.060	0.058
體積改變率		1.639%	4.918%
標準差	0.0003	0.0003	0.0004

附錄八：出口端疏水性不同時水滴體積數據

疏水性 數據(cm^3)	一般	強
1	0.061	0.048
2	0.061	0.048
3	0.061	0.048
4	0.061	0.047
5	0.060	0.048
6	0.061	0.049

7	0.061	0.048
8	0.060	0.048
9	0.061	0.047
10	0.061	0.047
11	0.061	0.048
12	0.061	0.048
13	0.061	0.048
14	0.061	0.048
15	0.061	0.048
16	0.061	0.048
17	0.060	0.047
18	0.061	0.048
19	0.061	0.048
20	0.061	0.047
平均	0.061	0.048
體積改變率		21.311%
標準差	0.0003	0.0005

附錄九：出口端流量不同時水滴體積數據

流量大小 / 數據(cm^3)	0.24克/分	0.58克/分	0.89克/分	1.12克/分	1.51克/分
1	0.048	0.049	0.051	0.051	0.053
2	0.048	0.048	0.050	0.051	0.053
3	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053
4	0.048	0.049	0.050	0.052	0.053
5	0.048	0.049	0.050	0.051	0.052
6	0.048	0.046	0.050	0.051	0.053
7	0.047	0.049	0.050	0.052	0.053
8	0.048	0.049	0.051	0.051	0.052
9	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053
10	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053
11	0.048	0.049	0.051	0.052	0.053
12	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053
13	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053
14	0.047	0.048	0.050	0.051	0.052
15	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053
16	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053
17	0.048	0.049	0.051	0.051	0.052
18	0.048	0.049	0.050	0.052	0.052
19	0.047	0.049	0.050	0.051	0.053
20	0.048	0.048	0.050	0.051	0.053
平均	0.048	0.049	0.050	0.051	0.053
體積改變率		2.083%	4.167%	6.250%	10.417%
標準差	0.0004	0.0008	0.0004	0.0004	0.0004

【評語】030105

1. 本作品探討滴管滴出水滴體積之變化及影響之因素，取材兼具實用性及創意。

2. 作者仔細探討了出口特性，管口面斜度，流量對水滴體積的影響，對於滴管設計有所助益。

3. 作者若能針對不同表面張力液體或接觸角，再進行有系統的分析，會使作品更完整。