中華民國第53屆中小學科學展覽會作品說明書

國中組 物理科

030111

水流倒退噜---研究水的附壁現象

學校名稱:高雄市立左營國民中學

作者:

指導老師:

國二 邱靚綸

洪梅玲

國二 莊友任

莊婷媜

國二 林威丞

關鍵詞:黏滯力,附壁作用

水流倒退噜-研究水的附壁現象

摘要

本研究主要設計多種實驗方法,了解水流通過曲面時,影響附壁力大小的各種變因,藉以了解在日常生活中倒水或實驗室中使用燒杯、量筒等,為何只要一個角度不對,水就會不聽話的沿杯壁流下。

我們利用高度差造成不同的出口壓力,自製水流量控制器精準的提供穩定水流,才能在不同流量速率,使用下列方法來研究附壁力:

- 一、測量水流流出杯口的水平射程。
- 二、傾斜容器測量開始有附壁流與全部附壁流的臨界角。
- 三、測量水流沿圓柱流動的水平位移。
- 四、自製儀器來測量水流的黏滯力和附壁力的大小。

使用上述方法所得的結論大致相符,增加實驗結果的可信性,我們歸納出常用容器的附壁作用程度和容器杯口的形狀關係,體會到小小的設計卻有很深的科學原理隱含其中。

壹、研究動機

相信大家應該都有拿著杯子把水倒出來的經驗,而為甚麼水倒出來的時候還會有一部分的水沿著杯壁流下去呢?在國中理化實驗中,有關實驗器材的操作中,理化老師要求我們倒出燒杯中的液體時,要使用玻棒依附杯口,讓水順著玻棒流下,我聯想到了這個問題。我們希望藉著這一次的研究,更加深入的了解液體的沿著杯口外壁流下的原因。

貳、研究目的

- 一、 自製噴水流量速率控制器
 - (一)測量噴水器的流量速率穩定性
 - (二)測量壓力對噴水器的流量速率關係
- 二、 利用流體水平射程測量杯口流體附壁現象的影響程度:
 - (一)探討不同流量速率的液體流出杯口的水平射程
 - (二)探討液體流出常用容器杯口的水平射程和杯口形狀設計的關係
- 三、 測量流體溢出容器杯口開始有附壁流與全部附壁流的臨界角:
 - (一)探討不同流量速率的液體溢出杯口的臨界角
 - (二)探討液體從常用容器杯口溢出的臨界角和杯口形狀設計的關係
- 四、 射流通過圓弧面的附壁作用力:
 - (一)探討液體流量速率和附壁水平路程間的關係。
 - (二)探討液體流量速率和附壁流質量比的關係。
- 五、 自製儀器測量黏滯力和液體流量速率的關係。
- 六、 自製儀器測量附壁力和液體流量速率的關係。

參、研究設備及器材

設備及器材名稱(規格)	設備及器材名稱(規格)
壓克力圓筒(不同口徑8個以上)	量角器
壓克力圓筒(不同厚度5個以上)	碼表
塑膠水管	樂高積木
砝碼組(精密度 0.1 公克)	壓克力板
注射針頭(不同口徑3個以上)	電子天秤(精密度 0.01 公克)
寶特瓶(特大號一個)	三通管

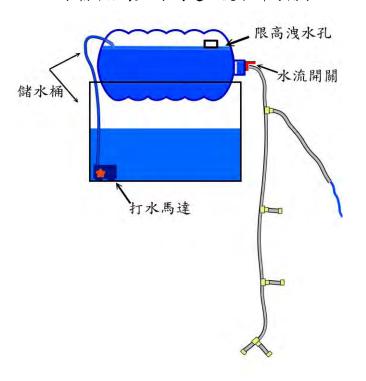
肆、研究過程或方法

一、【實驗一】自製水流速控制器

(一)研究目的:在研究水流量速率對附壁作用力的影響中,需要操縱不同的水流量速率,此部分實驗我們將自製水流量速率控制器並驗證其穩定性。

(二)裝置圖:

- 1、在儲水箱上加上最大號的寶特瓶,並在寶特瓶上開一個限高洩水孔以便控制水 位高度維持一定。
- 2、水箱中加裝沉水馬達以便不斷的補水。



∩儀器示意圖

⋂實際照片

(三)原理:

1、利用不同高度差的水壓力來控制水的出口流量速率。 若不考慮水流在水管中流動所受的摩擦力(黏滯力),水由高度 h 處的重力位能轉換為水流的動能。

2、流量速率定義為單位時間通過截面的流體體積。

流量速率= 流體體積 = 截面積×長度 = 截面積× 長度 時間 = 截面積×流速ν

3、水流由固定截面的噴嘴射出,其流量速率 ∞ 速度 $v \propto \sqrt{h}$

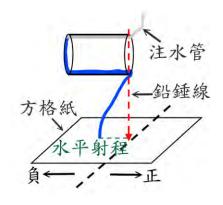
- 1、將儲水桶放置於最高樓層,在桶子口上接上管子,並讓管子從樓上的樓梯口垂 到樓下,並在每一層樓設置出水口。
- 2、測量並記錄限高洩水孔到各樓層出水口的垂直高度差。
- 3、在各樓層固定高度處打開開關,以燒杯盛接流出的水,每隔20秒以電子天平 測量累計流出的水量,以此類推10次。
- 4、每一層樓重複此動作,實驗後的數據列成表格。

二、【實驗二】利用水流通過杯口的水平射程研究附壁作用

- (一)研究目的:研究不同的水流量速率下,水流水平流出不同容器杯口的水平射程變化, 藉以研究附壁作用的影響。
 - 1、探討不同流量速率的液體流出杯口的水平射程。
 - 2、探討液體流出常用容器杯口的水平射程。

(二)裝置圖:

- 1、將各種常用容器傾斜使杯壁成水平,注入水到杯底使水流沿杯壁水平流出。
- 2、在距離杯口固定高度的地面上,放置接水的透明壓克力板的底盤,底盤下方貼上方格紙並標示刻度,以便測量。
- 3、以鉛垂線通過杯口,在方格紙上標定原點,原點的右方定為正距離;原點的左 方定為負距離。

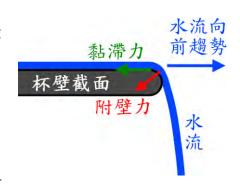




∩儀器示意圖

- (三)原理:如右圖為水流通過杯口時的截面圖。
 - 我們考慮水流在杯口受到重力、黏滯力和附壁力的作用。
 - 2、杯壁對水流所施的黏滯力方向為沿著接觸面, 和水流方向相反,使水流速度減小。
 - 3、杯壁對水流所施的附壁力方向為垂直接觸面, 使水流方向改變。
 - 4、水流受的重力方向為鉛直向下,並不會影響水 流的水平射程。

介實際照片



- 1、準備各種生活中常用的不同的杯子。
- 2、把杯子用泡棉膠黏到自製儀器上,並且用膠帶固定。
- 3、在杯口處垂下鉛垂線測出水平射程的原點。
- 4、把水管伸入杯內,緊黏在杯壁上。
- 5、將傾斜角調整到90度,打開水流控制器的開關。
- 6、紀錄水從杯口流下瞬間打到方格紙上的刻度。
- 7、用每一種杯子在不同流速下重複此動作。

三、【實驗三】測量流體溢出容器杯口開始有附壁流與全部附壁流的臨界角

(一)名詞解釋與定義

1. 附壁流與非附壁流:由杯口流出的液體會沿著杯壁流下定義為附壁流;不沿杯壁流下的稱為非附壁流。



€全為非附壁流





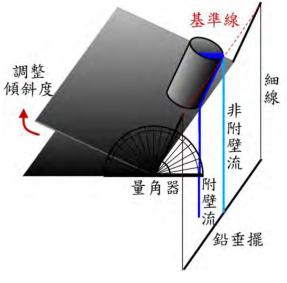
€食料壁流

- 開始附壁流的臨界角:將容器由杯口平面鉛直(傾斜角 θ=90°),逐漸豎立(θ減少),開始有液體沿杯壁流下的 傾斜角θι,定義為開始附壁流的臨界角。
- 3. 全部附壁流的臨界角: 將容器由杯口平面鉛直(傾斜角 θ=90°),逐漸豎立(θ減少),當非附壁流消失均為附壁 流的傾斜角定義為全部附壁流的臨界角。

(二)研究目的:

- 1. 探討不同流量速率的液體溢出杯口的臨界角
- 2. 探討液體從常用容器杯口溢出的臨界角

(三)儀器構造圖:



○儀器示意圖



⋂實際照片

(四)原理:

- 1、當容器注滿水溢出杯口時,注入容器的流量速率等於溢出容器的流量速率。
- 2、如右圖,水流要溢出杯口時,先在杯口逐漸堆積水量,當表面張力承受不注壓力時,水流即溢出。
- 3、容器傾斜角越小(較直立時),堆積的水量面積較廣,水流截 面積較大,故流速較慢;反之容器傾斜角越大,堆積的水量面積較小,水流截 面積較小,故流速較快。
- 4、所以相同流量速率下,容器傾斜角越大就代表水流的流速越大,若仍可有附壁流,即代表此容器較易產生附壁現象。

(五)實驗步驟:

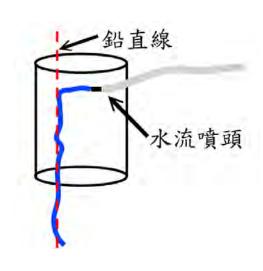
- 1、將容器垂直固定於傾斜板上。
- 2、接管子注水到容器中,直到水開始溢出容器。
- 3、逐漸調整傾斜板的角度,測量開始有附壁流與全部附壁流臨界角。
- 4、依次調整儀器到儲水桶的高度,產生不同流量,重複上述(2)(3)步驟,記錄開始有附壁流與全部附壁流臨界角。
- 5、更換杯口形狀不同的容器,重複上述步驟(1)~(4)。

四、【實驗四】、射流通過圓弧面的附壁作用力

(一)研究目的:

- 1、探討液體流量速率和附壁水平路程間的關係。
- 2、探討液體流量速率和附壁流質量比的關係。

(二)儀器構造圖:



↑圖 4-1:儀器示意圖



↑圖 4-2:實際照片

(三)實驗原理:

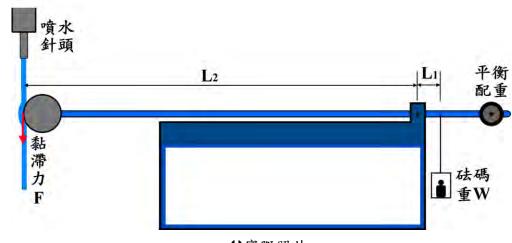
- 1、水柱沿著圓柱表面射出,因附壁作用會沿著表面流動。
- 2、因為水流跟表面的粘滯力作用,流速逐漸減少,當前進的流速減為零時,因 重力作用,水柱會鉛直流下。
- 3、藉由前進的距離,我們可以分析粘滯力與附壁力的關係。

- 將噴水頭繞著圓柱貼附在圓柱表面,並控制噴水的針頭,沿著表面的切線方向射出,且控制出來的水能保持水平。
- 2、觀察附壁水流開始鉛直流下的位置,並用棉線吊一個重物作為鉛錘線標示其位置,並記錄其到噴水針頭的水平路程。
- 3、利用自製噴水流量控制器,控制較小不同流量速率,再重複上述步驟。
- 4、利用自製噴水流量控制器,控制較大不同流量速率,觀察水流由噴頭射出後是否所有水流均為附壁流,若有非附壁流,則以容器在60秒內盛接附壁流,求得附壁流的質量比。

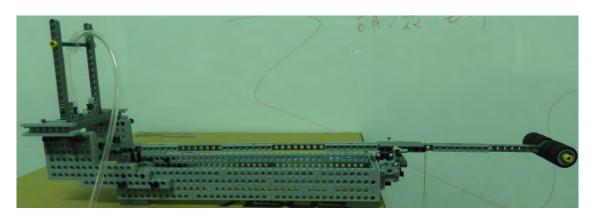
五、【實驗五】、測量水流和接觸表面間黏滯力的大小:

(一)研究目的:利用自製儀器測量黏滯力的大小,探討液體流量速率和黏滯力的關係。 (二)儀器構造圖:

♥儀器示意圖



♥實際照片



(三)儀器原理:

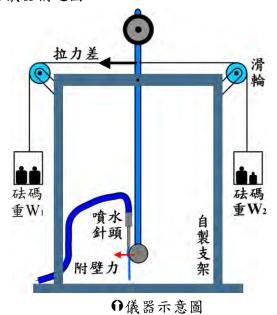
- 利用噴水針頭將水流射向左端的圓弧面,水流對圓弧面產生方向向下的黏滯力,施於桿秤逆時針方向的轉動力矩。
- 2、調整右邊秤盤的砝碼重 W,對桿秤會有順時針方向的轉動力矩,使桿秤恢復平 衡位置。
- 3、由力矩平衡:黏滯力 \times L₂=砝碼重 \times WL₁ \Rightarrow 黏滯力=砝碼重 \times KL₁ $\xrightarrow{L_1}$

- 1、桿秤歸零校正:未打開噴水針頭開關前,調整平衡配重的位置,使桿秤達平衡, 若無法洽達平衡則在秤盤內加砝碼微調。
- 2、打開噴水針頭開關,將水流射向桿秤左端的圓弧面,此時桿秤受水流的黏滯力而逆時針方向轉動。
- 3、逐漸增加右端秤盤的砝碼重,使桿秤恢復平衡位置。
- 4、取出砝碼重新再測一次,兩次的砝碼重取平均並紀錄之。
- 5、依序在不同的樓層,以不同流量速率的水流,重複上述步驟 2~4。

六、【實驗六】、測量水流和接觸表面間附壁作用力的大小:

(一)研究目的:利用自製儀器測量附壁力的大小,探討液體流量速率和附壁作用力的關係。

(二)儀器構造圖:





⋂實際照片

(三)儀器原理:

- 1、利用噴水針頭將水流射向桿秤底部的圓弧面,對圓弧表面產生附壁吸力,施於 桿秤順時針方向的轉動力矩。
- 2、調整左右兩秤盤的砝碼重,兩秤盤砝碼重量的拉力差,對桿秤會有逆時針方向 的轉動力矩,使桿秤恢復平衡位置。
- 3、由力矩平衡:附壁吸力×力臂 L_1 =拉力差×力臂 L_2 ⇒ 附壁吸力=拉力差× $\frac{L_2}{L_1}$

- 4 科科歸零校正:未打開噴水針頭開關前,調整平衡配重的位置,使桿秤傾斜各種角度均可達平衡,若無法治達平衡則在秤盤內加砝碼微調。
- 2、打開噴水針頭開關,將水流鉛直射向桿秤下端的圓弧面,此時桿秤受水流的附 壁吸力而順時針方向轉動。
- 3、逐漸增加左端秤盤的砝碼重,使桿秤恢復平衡位置。
- 4、取出砝碼重新再測一次,兩次的砝碼重取平均並紀錄之。
- 5、依序在不同的樓層,以不同流量速率的水流,重複上述步驟 2~4。

伍、研究結果

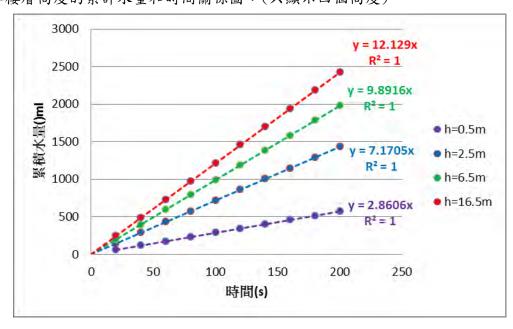
一、【實驗一】自製水流速控制器

(一)實驗結果:

1、實驗數據:

高度差(公尺)	0.5	2. 5	4. 5	6. 5	8. 5	10.5	12. 5	14. 5	16. 5
時間	水量	水量	水量	水量	水量	水量	水量	水量	水量
(秒)	(ml)	(ml)	(m1)						
20	56. 7	144. 3	179.9	198. 3	213.3	226.0	231.8	240.2	244.4
40	114.6	286. 9	357. 7	395. 1	426.9	452. 1	463. 9	481.3	486.8
60	172.1	430.5	535.8	594.1	641.7	678. 2	697.8	722.3	727.6
80	228.3	573. 9	715.8	791.0	856.4	905. 1	931.3	961.8	971.1
100	286. 2	717.4	892.4	988. 7	1072.3	1132.0	1165.0	1204.0	1215. 2
120	343. 9	861.0	1070.9	1186.9	1285.6	1360.1	1397. 2	1444.6	1456. 2
140	400.6	1003.9	1247. 9	1385.1	1500.4	1588.3	1631. 2	1686.8	1696.4
160	458.0	1147.5	1425. 2	1582.7	1714. 2	1816.7	1865. 2	1925.8	1939. 2
180	515.0	1290.4	1602.2	1780.1	1930. 0	2043. 0	2098. 5	2168. 4	2182. 2
200	571.5	1433.5	1780.6	1978. 9	2145.8	2269.7	2332.0	2409.5	2427.0

2、各樓層高度的累計水量和時間關係圖:(只顯示四個高度)

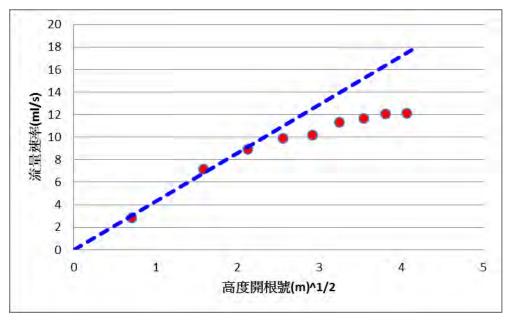


(二)討論與分析:

- 1、在累計水量和時間關係圖中:累積水量和時間為成正比的關係,其趨勢方程式的相關係數非常高均達1,顯示水流量速率非常穩定,因此我們可以確定利用高度差來控制水的流量速率是可行的,能為後面的實驗提供精準的操作變因。
- 2、在累計水量和時間關係圖中:趨勢線方程式的斜率即為流量速率(每單位時間的水流量),各種高度差所產生的流量速率彙整如下表:

高度差 (公尺)	0.5	2. 5	4. 5	6. 5	8. 5	10.5	12. 5	14. 5	16. 5
流量速率 (ml/s)	2. 86	7. 17	8. 91	9. 89	10. 18	11. 34	11. 65	12. 04	12. 13

3、做流量速率和高度差開根號的關係圖如下圖:



- (1)理論上流量速率和高度差的關係為:流量速率 $\propto\sqrt{$ 高度差 $h}$,我們發現在高度 差 2 公尺的範圍內和理論非常吻合。
- (2)但高度差超過2公尺以上流量速率增加的幅度明顯減小(在正比直線的下方),而且流量速率趨近於終端值大約12m1/s,我們推測合理的原因可能是因為隨著高度差增加,流量速率變快,管壁對水的黏滯力變大所造成的。

二、【實驗二】利用水流通過杯口的水平射程研究附壁作用

(一)實驗結果:

1、實驗數據:

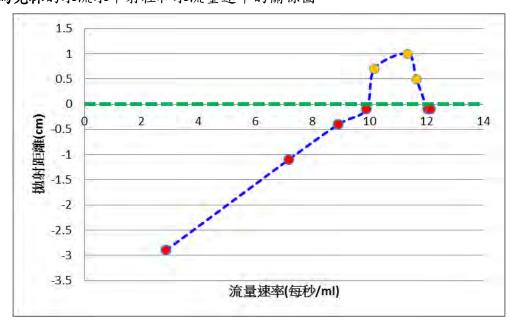
容器	馬克杯	水晶杯	紙杯	燒杯	尖嘴燒杯
流量速率	水平射程	水平射程	水平射程	水平射程	水平射程
2.86	-2.9	5. 2	2.8	-2.9	-0.3
7. 17	-1.1	7.8	5. 4	-2.8	-0.3
8. 91	-0.4	8.3	6. 1	-2.1	-0.5
9. 89	-0.1	8. 4	5. 5	-1.9	-0.8
10.18	0.7	7.6	4. 9	-1.5	-1.3
11.34	1	8. 2	5. 4	-0.9	-1.8
11.65	0.5	8.8	6	-0.2	-1.8
12.04	-0.1	8. 7	5. 9	0.6	-2.2
12.13	-0.1	8. 9	6. 3	0.6	-2.3

(二)討論與分析:

1、各種容器杯口外觀的比較:

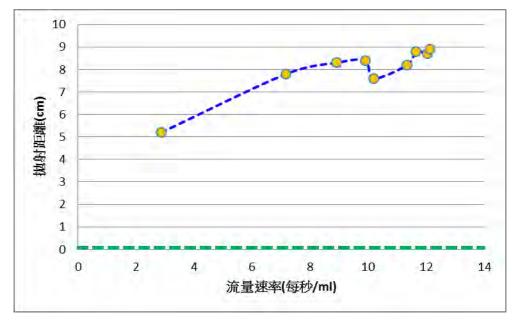
馬克杯	燒杯	水晶杯	尖嘴燒杯	紙杯
杯口無突出外	杯口有圓弧向	杯口有突出外	杯口為突出尖	杯口有突出外
緣,杯口又極	外翻,末端較	緣,有平緩的	嘴,有越來越	緣,為光滑的
度平滑圓弧	圓弧	傾斜平面,末	小的溝槽,末	圓弧狀
		端較尖銳	端較圓弧	

2、馬克杯的水流水平射程和水流量速率的關係圖:



分析與討論:

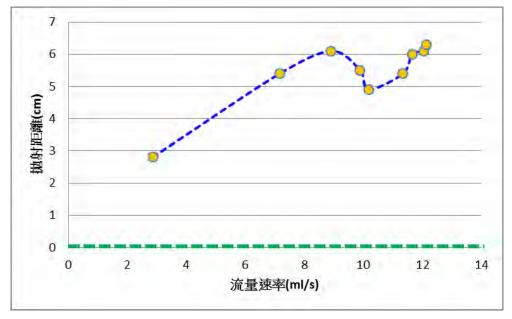
- (1)在流量速率越小時,後退水平射程(倒退魯)越大,代表附壁現象就越明顯。
- (2)隨著水流量流速率越大,水平射程越向前,代表附壁力逐漸無法抵抗水流向前的趨勢,讓水流改變方向。
- (3)但流量流速率大於 11m1/s 時,水平射程又向後偏移,推測是因為流量速率越大附壁力隨著變大所造成的。
- 2、水晶杯的水流水平射程和水流量速率的關係圖:



分析與討論:

- (1)水流的水平射程均為正,且流量速率越大,水平射程越大,顯示其附壁作用 非常小無法抵抗水流向前的趨勢。
- (2)在流量速率 10m1/s 出現向前的水平射程變小然後又變大的現象,推測也是因為流速越大附壁力隨著變大所造成的,只是後來水的流速變大,附壁力又無法抵抗。

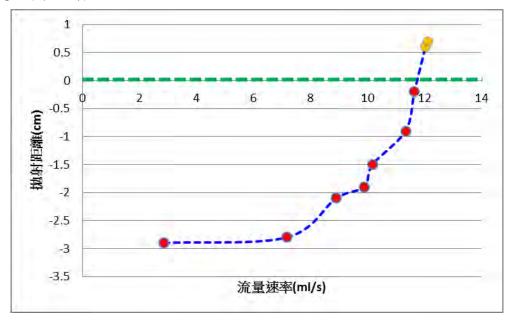
3、紙杯的水流水平射程和水流量速率的關係圖:



分析與討論:

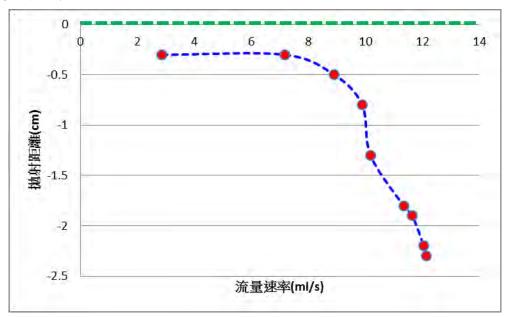
- (1)水流的水平射程均為正,且流量速率越大,水平射程越大,顯示其附壁作用 非常小無法抵抗水流向前的趨勢。
- (2)水晶杯的水平射程均比紙杯大,推測應該是水晶杯較光滑,水流受到的黏滯力較小,水的流速較大所造成。
- (3)在流量速率 8ml/s 時,和水晶杯一樣出現向前的水平射程變小然後又變大的現象,推測也是因為流速越大附壁力隨著變大所造成的,只是後來水的流速變大,附壁力又無法抵抗。

4、燒杯(非尖嘴)的水流水平射程和水流量速率的關係圖:



分析與討論:

- (1)流量速率較小時,水流的水平射程均為負,其原因為燒杯杯口有圓弧向外翻, 導引水流幾乎垂直向下流,其末端又為圓弧,附壁作用使水流後退嚕。
- (2)流量速率較大時,水流的水平射程越來越向前移動,顯示附壁作用較難影響水流的。
- (3)當流量流速率大於 12m1/s 時,水平射程開始為正,代表附壁作用已經無法完全抵抗水流向前的趨勢。
- 5、燒杯(尖嘴)的水流水平射程和水流量速率的關係圖:



分析與討論:

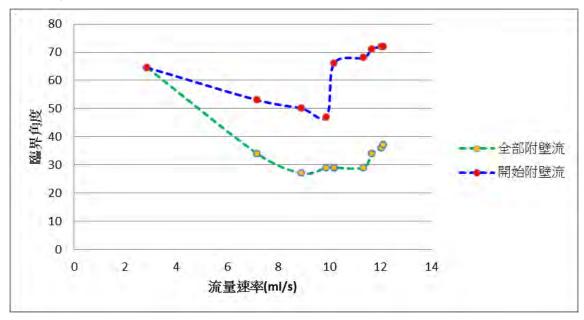
- (1)尖嘴燒杯實驗後數據的曲線和其他杯子都相方反,流量速 率越大,倒退嚕越厲害。
- (2)我們仔細觀察的結果是:如右圖所示,燒杯的尖嘴處可以發現其形狀有微微的向後勾而且彎曲幅度不大,有導引水流向後的作用,顛覆了我們預想中有尖嘴就不會有附壁的迷思,事實上因為尖嘴的附壁作用讓水流向後。



三、【實驗三】測量流體溢出容器杯口開始有附壁流與全部附壁流的臨界角

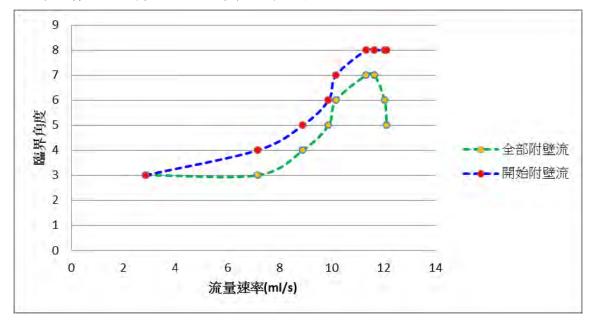
(一)實驗結果:

1、馬克杯的臨界角和水流量速率的關係圖:



- (1)流量速率在 10m1/s 以內,隨流量速率變大,兩種臨界角均隨著變小,代表 附壁作用隨之變小。
- (2)開始附壁流的臨界角在流量速率超過 10ml/s 時,全部附壁流的臨界角在流量速率超過 12ml/s 時,突然增加,代表流量速率越大附壁作用變得較明顯。

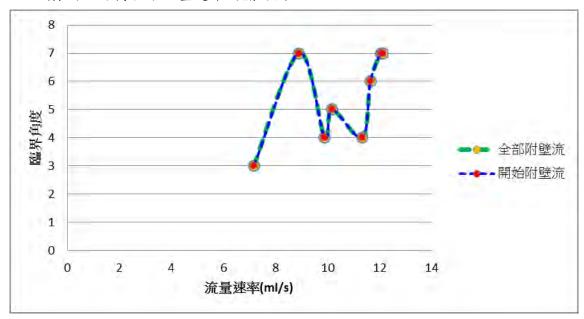
2、水晶杯的臨界角和水流量速率的關係圖:



(1)流量速率在 11ml/s 以內,隨流量速率變大,開始附壁流的臨界角也隨著變大,代表附壁作用隨之變大,但流量速率大於 11ml/s 時臨界角達最大值,不再增加(也許會減少),代表附壁作用的影響變小。

(2)流量速率在 11ml/s 以內,隨流量速率變大,全部附壁流的臨界角隨之變大, 亦代表附壁作用隨之變大,但流量速率大於 11ml/s 時全部附壁流的臨界角 開始減少,亦代表附壁作用的影響變小。。

3、紙杯的臨界角和水流量速率的關係圖:

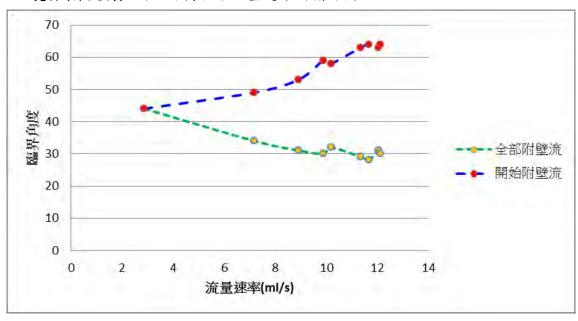


(1)在流量速率小於 7ml/s 時,紙杯即使完全直立(傾斜角θ=0°),也不會有附壁流產生,這是因為流速比較小時附壁力也比較小,而且跟他杯口外翻成圓環的設計有關(如右圖),使杯口遠離杯壁,不易將外側水流拉近。



(2)在流量速率大於 7ml/s 時,紙杯只要開始產生附壁流,就是全部附壁流,推 測流量速率較大時,產生足夠大的附壁力,而且外翻成圓環的設計,很容易 讓水流沿圓弧面流到杯壁產生完全附壁流。

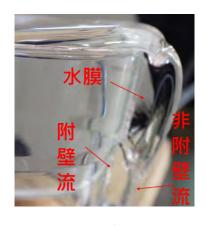
4、燒杯(非尖嘴)的臨界角和水流量速率的關係圖:



- (1)流量速率在 11ml/s 以內,隨流量速率變大,開始附壁流的臨界角也隨著變大,代表附壁作用隨之變大,但流量速率大於 11ml/s 時臨界角達最大值,不再增加(也許會減少),代表附壁作用的影響變小。
- (2) 燒杯開始附壁流的臨界角比較大,而且杯口外翻程度較大,使非附壁流和附壁流距離較大,不易相吸形成全部附壁流,所以隨流量速率增加,全部附壁流的臨界角隨著變小。

(二)討論與分析:

我們觀察到從開始附壁流到全部附壁流的過程中,這兩個水流間的水膜產生吸引力讓附壁流和非附壁流靠近,所以傾斜角越大時,附壁流和非附壁流間距離太大不容易形成全部附壁流。





- 2、水晶杯和紙杯開始附壁流和全部附壁流的臨界角非常小,而且都介於10°的範圍內,顯示容器比較直立時,才有附壁流,故其附壁作用非常小,和前一個實驗結果吻合。
- 3、水晶杯開始附壁流和全部附壁流的臨界角非常接近,紙杯開始附壁流和全部附壁流的臨界角完全相同,可能是開始附壁流的臨界角很小,非附壁流和附壁流的距離很小,容易相吸而形成全部附壁流。
- 4、但燒杯和馬克杯開始附壁流和全部附壁流的臨界角隨流速變大,相差也越來越大,則是因為開始附壁流的臨界角比較大,非附壁流和附壁流的距離很大,不容易相吸而形成全部附壁流。
- 5、觀察馬克杯和非尖嘴燒杯全部附壁流的臨界角,隨流量速率變大而變小,流量速從 8m1/s 增加到 11m1/s 時,臨界角幾乎在 30°附近,其原因是杯子傾斜小於 30°時非附壁流較靠近杯壁,水膜容易將附壁流和非附壁流拉靠近。

5、另外我們也有用燒杯的尖嘴作實驗,即使傾斜角零度(直立),也不會出現附壁現象,尖嘴可將水集中成一小水柱, 水流截面變小,流速會增加,不易受附壁力的影響,直接 由尖嘴噴出,如右圖所示。



四、【實驗四】、射流通過圓弧面的附壁作用力

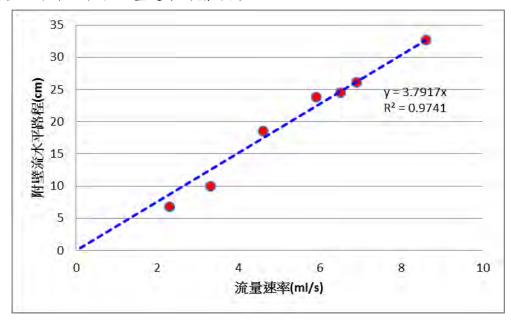
(一)實驗結果:

1、實驗數據:

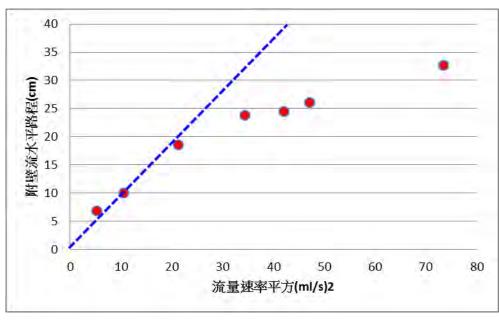
流量(ml/s)	8.6	6. 9	6. 5	5. 9	4.6	3. 3	2. 3
流量平方	73.5	47.1	42.1	34.4	21.3	10.6	5. 2
附壁路程(cm)	32. 7	26. 1	24. 5	23.8	18.5	10	6.8

流量速率(ml/s)	2.86	7.17	8. 91	9.89	10.18	11.34	11.65	12.04	12.13
附壁質量比(%)	100	100	100	94.6	64.5	16.3	12.6	10.3	7.6

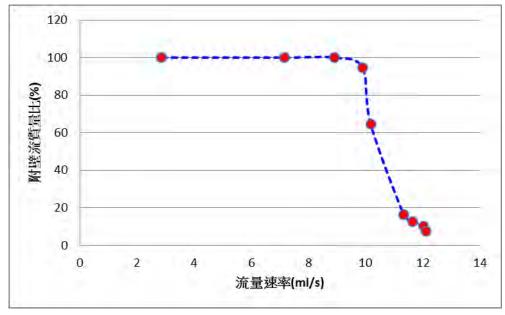
2、附壁流水平路程和流量速率的關係圖:



3、附壁流水平路程和流量速率平方的關係圖:



4、附壁流質量比和流量速率的關係圖:



(二)討論與分析:

- 1. 從路程和流量速率的關係圖:可以發現在圓柱上的附壁水平路程和流量速率幾乎 是成正比的關係。
- 2. 水流受圓柱表面的粘滯力作負功,使其前進的動能逐漸減少直到前進動能為零。 水流的動能應該和流速的平方成正比。

若粘滯力為定值,則由功-能原理來分析:

粘滯力作負功=粘滯力 fx路程=動能∞流速的平方

即路程∝流速的平方,則路程和流量速率平方的關係圖應為通過圓點的斜直線。

- 3. 從路程和流量速率平方的關係圖:可以發現路程數據點均在正比切線的下方,顯 示圓柱表面對水流的粘滯力並非定值,而是隨流量速率漸增,才會造成這樣的結 果。
- 4. 從附壁質量比和流量速率的關係圖:可以發現在流量速率較小時(小於 10m1/s), 所有水流均為附壁流;但流量速率逐漸變大時,附壁質量比急遽的下降。推測其 原因為水流量速率越大慣性越大,附壁力無法提供足夠的向心力而使部分水流沿 切線方向甩出,形成非附壁流。

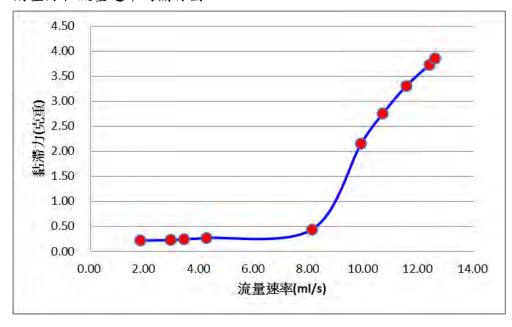
五、【實驗五】、測量水流和接觸表面間黏滯力的大小:

(一)實驗結果:

1、實驗數據:不同流量速率下測得的黏滯力

流量速率 (ml/s)	1.82	2.93	3.43	4.25	8.10	9.88	10.68	11.53	12.38	12.58
黏滯力(gw)	0.22	0.23	0.24	0.27	0.44	2.15	2.75	3.30	3.73	3.85

2、附壁力和流量速率的關係圖:



(二)討論與分析:

- 1、在流量速率小於 8m1/s 時,黏滯力大約維持一定;但流速大於 8m1/s 時,黏滯力急遽的變大。
- 2、我們推論:流量速率愈大時附壁力也越大,此附壁力造成水流和圓弧表面間的 正向力增加,如同動摩擦力一樣,正向力增加可能導致水流和圓弧表面的黏滯力 增加。

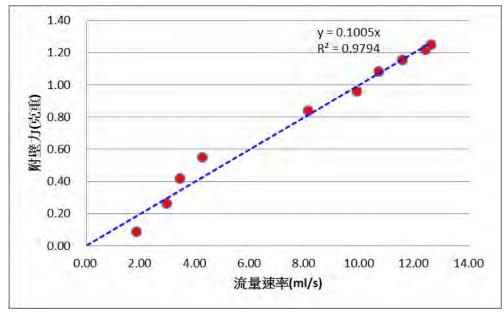
六、【實驗六】、測量水流和接觸表面間附壁作用力的大小:

(一)實驗結果:

1、實驗數據:不同流量速率下測得的附壁力

流量速率 (ml/s)	1.82	2.93	3.43	4.25	8.10	9.88	10.68	11.53	12.38	12.58
附壁力(gw)	0.09	0.26	0.42	0.55	0.84	0.96	1.08	1.15	1.22	1.25
附壁力(gw) 修正黏滯力	0.10	0.27	0.43	0.56	0.86	1.04	1.18	1.27	1.35	1.39

2、附壁力和流量速率的關係圖:(未修正黏滯力)



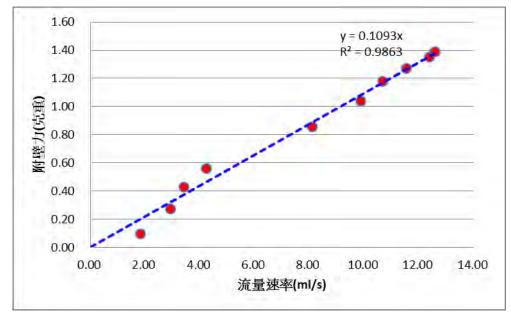
分析:

- (1)我們發現測量到的附壁力和水的流量速率有成正比的趨勢。
- (2)為了降低黏滯力造成的力矩,我們的實驗器材設計成附壁力的力臂遠大於 黏滯力的力臂,但根據實驗五的結論,黏滯力隨流量速率會急遽的增加, 我們覺得必須把黏滯力造成的力矩加以修正,得到的附壁力會比較準確。

(3)修正方法為:

附壁力造成力矩=附壁力×力臂 L₁(順時針方向力矩) 秤盤拉力差造成力矩=拉力差×力臂 L₂(逆時針方向力矩) 黏滯力造成力矩=黏滯力×力臂 L₃(逆時針方向力矩) 附壁力×力臂 L₁=拉力差×力臂 L₂+黏滯力×力臂 L₃ 將秤盤測得的拉力差及實驗五測得的黏滯力帶入上式,重新計算附臂力,所得結果如下圖。

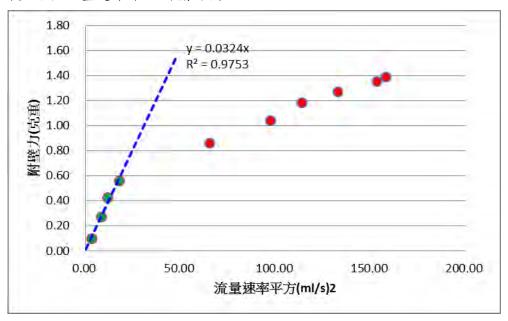
3、附壁力和流量速率的關係圖:(已修正黏滯力)



分析:

修正後的附壁力和水的流量速率仍為成正比的趨勢,但其相關係數更為提高。

4. 附壁力和流量速率平方的關係圖:



分析:

- (1)圓柱體對水的附壁力是使水流沿圓柱表面作圓周運動所需的向心力,根據 理論圓周運動的物體所需的向心力和速度的關係應為:向心力 F∝速度平方
- (2)在附壁力和流量速率平方的關係圖中:發現當流量速率較小時,測量到的 附壁力和水的流量速率有成正比的關係,符合上述理論。
- (3)在流量速率較大時,附壁力比理論小,我們推論應該是水流速度太大,外層水流直接往切線方向流出,為非附壁流,即實際附壁的水流質量較小所造成。

陸、討論

- 一、我們曾經試驗用『馬達加壓』及『重物壓活塞』的方式,來控制水的流量速率,雖然 在測量流量速率時感覺也是很穩定,但是在後來的某些實驗中會測到水流晃動很厲 害,改成直接用高度差來控制才解決此問題。
- 二、在討論常見容器的附壁作用時,不同容器的杯口形狀、材質、口徑、、、等變因都會 影響,但我們很難找到只有單一變因不同的各種容器來分析,所以只能對常用容器來 比較其附壁力。
- 三、在各種容器中注水時,我們發現在杯壁較水平時,水流會出現蛇行的狀況,杯壁較鉛直時水流並非從容器杯口的正中央流下。我們猜想這可能和水噴入杯中時攪動水旋轉造成,所以我們在噴嘴外面套一段管子,不讓水柱衝擊杯中的水。做了這項調整後,問題雖然沒有完全解決,但至少改善了80%,水也開始從正中央流下!



- 四、測量水柱在圓柱表面的繞行距離時,一開始使用流量速率較高的水柱,我們發現水柱到末端時會蛇行,很難確定水柱前進速度為零的位置。我們推測其原因為較前面的水柱速度變慢時,後方水柱若速度太快,會產生推擠而產生蛇行,所以我們就用流量速率較低的水柱,降低推擠的作用,結果水柱就有穩定的軌跡了。
- 五、利用自製儀器測量附壁力(黏滯力)的大小,為了增加測量的精密度,盡量讓圓柱受附壁力(黏滯力)的力臂比繩子拉力的力臂大很多。而且為了增加靈敏度必須在桿秤上配重,使整體的重心在支點上。

柒、結論

一、在【實驗一】中:

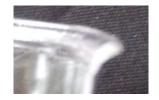
利用高度差來控制水的流量速率,在高度差不大時,流量速率和高度差的開根號成正 比,符合理論;但高度差較大時因黏滯力作用,造成和理論有所偏差,但在固定高度 差測得的流量速率是非常穩定的。

二、在【實驗二】中:

- (1)利用水流的水平射程可知:水晶杯和紙杯是附壁作用較小的容器,而燒杯不論有 沒有使用尖嘴其附壁作用是比較大。
- (3)由各種容器的拋射距離和流量速率的關係,可以推測流量速率越大,附壁力越大, 但向前運動的趨勢也越大,故水流是否倒退魯端看附壁力能否抵抗水流向前的趨勢。

三、在【實驗三】中:

- (1)水晶杯和紙杯發生全附壁流與開始附壁流的臨界角非常小,再次驗證水晶杯和紙杯是附壁作用較小的容器。
- (2)水晶杯和紙杯杯口外緣有外翻,而且曲率越大,或截 面越尖銳(如右圖),越不容易產生全部附壁流的情況。



(3)燒杯若使用尖嘴在大部分的傾斜角,都不會出現附壁現象,但是為了導引水流避免噴濺,還是建議要使用玻棒輕靠尖嘴,快要倒完燒杯內水時,傾斜接近90°,水流開始因附壁往後,所以實驗用玻棒輕靠燒杯尖嘴時,玻棒向後傾斜。

四、在【實驗四】中:

- (1)在水柱環繞圓柱表面流動時,附壁力提供水柱所需要的向心力,流速越大所需向 心力越大,若附壁力不夠時,水柱會往圓周切線方向噴出,形成部分非附壁流, 且流速越大時可附壁的質量比越小。
- (2)因圓柱表面的粘滯力對水流作負功,由功能原理:分析水流前進距離和流速的關係,我們可以推知粘滯力並非為定值,而是隨流量速率變大而增加。

五、在【實驗五、六】中:

- (1)我們自製的測量儀器相當成功,可以很靈敏的測量到水對圓柱體的黏滯力和附壁力。
- (2)我們可以得到當流量速率越大時,水流對圓柱的附壁力越大,在流量速率較小時 附壁力和流量速率的平方成正比,符合向心力的解釋。
- (3)我們可以得到當流量速率越大時,水流對圓柱的黏滯力越大,可能是因為附壁力

變大,使水流和表面間的正向力增加所導致。

(4)影響附壁現象要同時考慮黏滯力和附壁力,而黏滯力和附壁力又同時互相影響: 黏滯力會使水的流速減少,流速減少使附壁力降低;附壁力降低後,黏滯力也會 降低。

捌、參考資料及其他

- 一、Jearl Walker 著葉偉文譯 物理馬戲團1 第一版天下遠見 第二章 p. 248-249 89 年出版
- 二、維基百科-康達效應

網址http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%BA%B7%E8%BE%BE%E6%95%88%E5%BA%94

三、不會流口水的茶壺

網址:http://dongfangying.pixnet.net/blog/post/28437498

四、國立新竹女子高級中學第 45 屆科展作品--杯子與茶壺的對話網址:http://activity.ntsec.gov.tw

【評語】030111

- 1. 研究具生活實用性。
- 2. 在呈現研究成果時應更具組織性,並強調重點。
- 3. 研究範圍詳細,甚為努力。