

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

第三名

040108

盛氣凌人—探討氣泡對在流體中行進的物體
阻力之影響

國立臺中女子高級中學

作者姓名：

高二 洪皓瑜 高二 王怡蓁 高二 張茜瑀
高二 劉妍伶

指導老師：

陳正昇

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：高中組

作品名稱：盛氣凌人—探討氣泡對在流體中行進的物體阻力之影響

關 鍵 詞：流體黏滯阻力、空氣泡膜、旋轉圓筒

編 號：

目錄

摘要.....	P.1
壹、研究動機.....	P.2
貳、研究目的.....	P.4
參、研究設備及器材.....	P.5
肆、研究方法與過程.....	P.6
伍、研究結果與討論.....	P.8
陸、結論.....	P.16
柒、參考資料.....	P.17
捌、附錄.....	P.18

摘要

本實驗的目的是探討氣膜在流體中減少表面摩擦阻力的效應。本實驗利用兩個直立圓筒間的環狀空間注入流體，然後讓內筒旋轉使流體流動，再加入氣泡，測量電壓及電流，藉由 $P=IV$ 算出功率，消耗功率越多，則代表所受阻力越大。我們比較空轉、注入流體、加入氣泡之間的功率消耗關係，並以黏滯係數不同的流體，水與甘油，進行實驗。實驗結果顯示加入氣泡所消耗的功率可節省約 30%~65%，在高轉速時效果益彰。

壹、研究動機

在一次因緣際會下，看了 Discovery「科學新疆界」的報導，發現魚雷在水中行進的時候，和水面之間有一部分會很接近真空。於是我們想：是否可以利用此特性，讓物體在流體中行進時，外圍產生一層空氣膜將物體包裹起來，使其減少與流體之間的表面摩擦阻力，達到節省能量的效果。

物體於流體中所受的阻力來源有兩方面【1】：

- 一、因前後壓力差所造成的形狀阻力，
- 二、因黏滯性不同所造成的表面摩擦阻力，

而我們的實驗是針對表面摩擦阻力來進行探討。

通常在實驗室量測物體所受的阻力時，需要利用荷重計於大型的風洞或水洞中測試。然而這樣的設備除了體型龐大且價錢昂貴外，還必須考慮氣泡排放及附著的方式，並不一定適合我們構想的減阻實驗。

我們起初想製作發射器，讓製作好的模型在流體中等速行進，再想辦法使氣泡附著於其上，但如此會遭遇到一些困難：第一是製作發射器及模型十分麻煩；第二是無法克服長距離的實驗場地；第三則是無法使物體高速行進。因此我們將實驗方式修改後，設計成兩個空心圓筒，其間注滿流體，使內徑較小的圓筒以等角速度轉動，再打入氣泡使其附著於內徑小的圓筒上，藉由測量功率的方式，驗證物體表面若有氣膜包裹是否能達到減阻的效果。

事實上，以兩個圓筒間的環狀空間注滿流體，然後讓圓筒旋轉的流動現象，已有很多的研究文獻，在流體力學領域稱為 Taylor – Couette Flow (TC 流場)【2,3】。過去的研究大多是觀

察及量測這種旋轉流體隨著轉速與管壁間隙變化的情形，卻幾乎沒有提到其受到氣膜的影響。

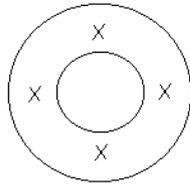
另外，我們在高二物質科學物理篇，第九章「轉動」、第十章「流體性質」及高三物理「電功率」中也學到和此相關的知識。而其中我們知道：阻力與物體速度有關，速度愈大阻力愈大，當阻力與物體重量相等時，物體不再加速，此時速度稱為終端速度，其值 $= \sqrt{\frac{2mg}{C\rho A}}$ （其中 v 為物體速度、 ρ 為空氣密度、 A 為物體有效截面積、 C 為阻力係數）。本實驗希望能利用氣泡的效應以增大物體行進時的終端速度。

貳、研究目的

利用兩個直徑分別為 7 公分和 9 公分的圓筒，在內筒上連接馬達使之轉動，即可將此裝置視為一長方形物體在流體中行進。如此一來，便能利用簡單的設備克服距離不足的問題。

另外，氣泡的產生及均勻分佈於轉動圓筒的壁面，是本實驗與單純 T-C 流場最大的差異。

為了讓大小相同的氣泡排放至流體中，我們在圓筒內的底部裝置四個平均分布於圓環處的針頭（如圖一），並利用外接的氣體供應器排放大小相同的氣泡至流體，使之附著於圓筒面以減少阻力。



圖一 圓筒底部針頭的排列情形

在實驗時，變化內筒的轉速，並計算轉動時所耗功率是否減少，進而得知阻力是否變小。

將觀察的結果繪製成圖表後，討論黏滯係數不同的實驗流體在不同轉速下圓筒轉速對減阻效應的影響。

參、研究設備及器材

一、圖二為本實驗研究設備的示意圖，而實驗儀器的配置及實物照片則如圖三所示。本實驗

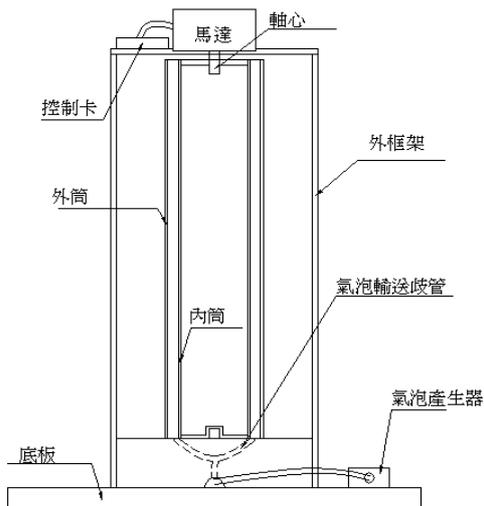
設備主要包括：

馬達（30 瓦、50 瓦） 電源供應器（24V D.C.） 圓筒（材質為壓克力，高度為 380mm，
內外筒直徑分別為 70、90mm） 氣體供應器、伏特計、安培計、轉速調整器。

二、實驗流體【4】：

（一）水（黏度 $\mu = 0.001\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ），

（二）甘油（黏度 $\mu = 1.49\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ）。



圖二 減阻實驗設備示意圖

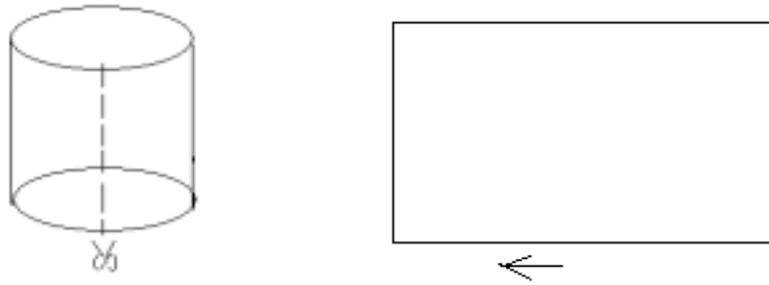


圖筒 轉速調整器 伏特計 電源供應器 安培計

圖三 實驗儀器配置及實物照片

肆、研究方法與過程

一、為了克服缺少長距離實驗場地及無法達到高速的問題，我們把整個系統改成兩個直立圓筒，在內筒連接馬達使之旋轉。將旋轉中的內筒沿虛線剪開後，即可視為長方形物體在流體中等速前進，如圖四所示。且在此無須考慮物體的形狀阻力。如此一來裝置即變得十分簡單。



圖四 圓筒展開圖

二、因阻力不易直接量測到，我們藉由功率來表示氣膜與減阻的關係。利用高中物理電流學中的式子(1)算出功率，功率越大代表阻力越大

$$P = IV \dots \dots \dots (1)$$

其中 P 為馬達轉動所需的功率，I 與 V 分別為於馬達驅控系統量測到的電流與電壓。

三、由於馬達帶動圓筒在沒有裝填任河流體的情況下(圓筒空轉)，仍需消耗一定的能量克服固體間的摩擦。我們計算流體所造成的阻力時必須扣除空轉的部分，亦即

$$\text{克服表面阻力所需的功率} = (\text{內外圓筒間充滿流體所消耗的功率}) - (\text{圓筒空轉的功率}) \dots \dots \dots (2)$$

四、氣膜(泡)的產生：我們使用氣體供應器從內外圓筒間環狀部分的底部分四孔平均打入(如圖一)。當圓筒轉動時，氣泡可以均勻分佈於圓筒壁面。

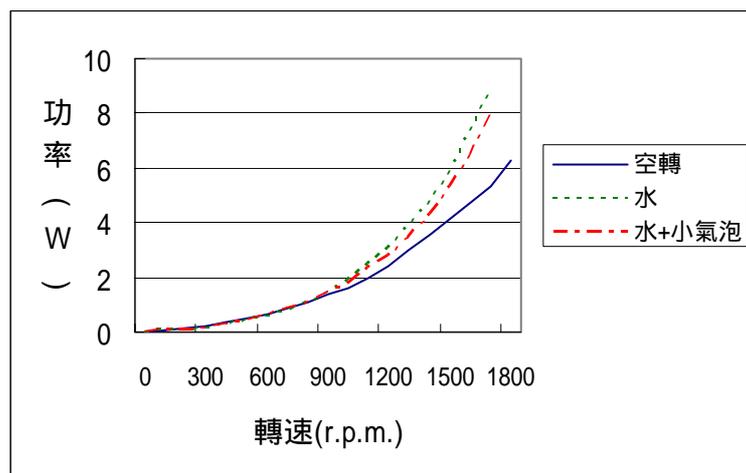
- 五、選擇甘油與水作為實驗流體：目的是比較在黏滯性相差約一千倍的流體中，所得的結果是否仍一樣，且在甘油中消耗功率較為明顯，較易觀測。另外，我們將體積比為 1:1 的甘油與水混合（甘油+水），得到黏滯係數介於甘油與水之間的流體，來進行此實驗。
- 六、我們分別用空轉、環狀間隙加入流體（分別為水、甘油、甘油加水）、流體中加入氣泡等實驗條件互相對照。除了上述的實驗條件外，本實驗最主要的參數是內筒轉速。內筒轉速的範圍是 0~2300 轉/分，實驗時我們階段性增加或降低轉速，同時量測馬達電流及電壓
- 七、在加入氣泡的實驗中，我們將氣體供應器控制在 100 毫巴及 2000 毫巴，產生不同大小的氣泡注入流體中。
- 八、在做了甘油的實驗後發現，甘油加入氣泡會因表面張力過大使氣泡不易破裂，導致液面不斷攀升造成新的變因。因此我們認為表面張力亦會影響實驗結果，故在甘油中加入少許酒精(約 5c.c.)減少其表面張力，以得到較穩定的液面高度。

伍、研究結果與討論

我們應用 TC 流場的裝置，利用外接的氣體供應器，由內外筒間隙底部將氣泡均勻注入旋轉的流體中，來進行氣泡減阻實驗。

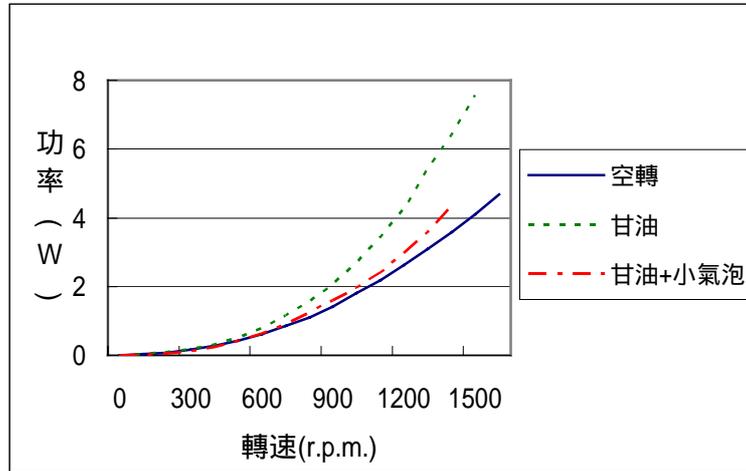
我們整理量測數據得到以下的結果：

- 一、根據我們剛開始的實驗結果，在轉速 650 轉/分的時候，空轉的平均電流竟然比水還大，這點讓我們覺得不可思議！經討論後，我們認為可能有二個原因：第一是做的次數不夠多，數據不夠精確；第二我們猜測是水反而造成了潤滑的效果，導致實驗結果不如預期。但後來發現，只量測電流是不夠的，於是我們另外還並聯了伏特計測電壓。利用式子(1)將測得的電流及電壓相乘，得到功率，以轉速為 X 軸，功率為 Y 軸繪圖（如圖五），比較空轉、環狀間隙加入水、及在水中加入氣泡三者所消耗的功率，我們發現在較低轉速（約低於 1200 轉/分）時，消耗的功率幾乎沒有差別，但大約在 1200~2100 轉/分時，空轉所消耗的功率最小，而在水中加入氣泡所消耗的功率比只加入水要來的小。



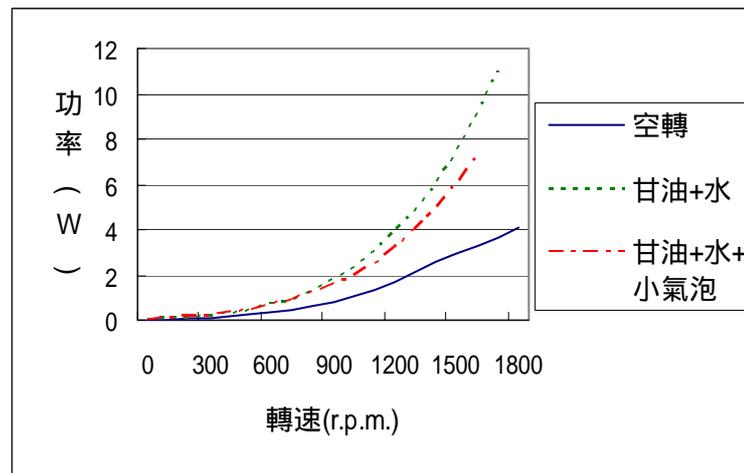
圖五 以水為流體時，各種情形的功率-轉速關係圖

二、以同樣的方式將轉速-功率繪成圖六，比較空轉、環狀間隙加入甘油、及甘油加入氣泡三者所消耗的功率，發現以甘油為流體時，消耗功率的差異比用水要來的明顯，空轉所消耗的功率仍為最小，而甘油加氣泡所消耗的功率比只有甘油要來的小。



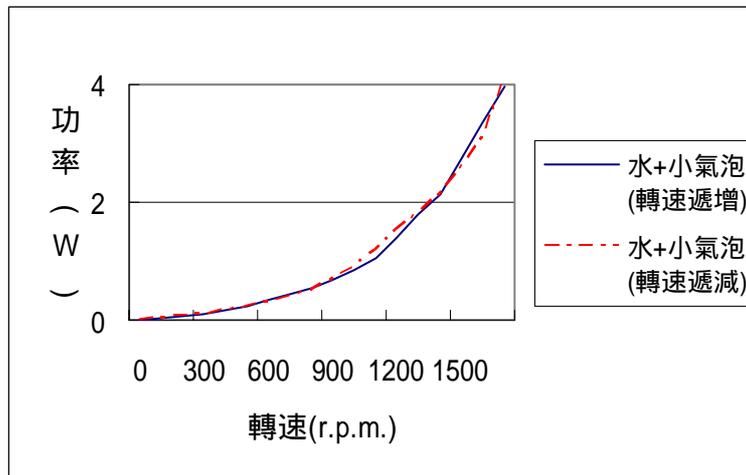
圖六 以甘油為流體時，各種情形的功率-轉速關係圖

三、將轉速-功率繪成圖七，比較空轉、環狀間隙加入甘油+水、及注入氣泡三者所消耗的功率，發現空轉消耗的功率最小，注入氣泡消耗的功率依然比只有流體來的小。

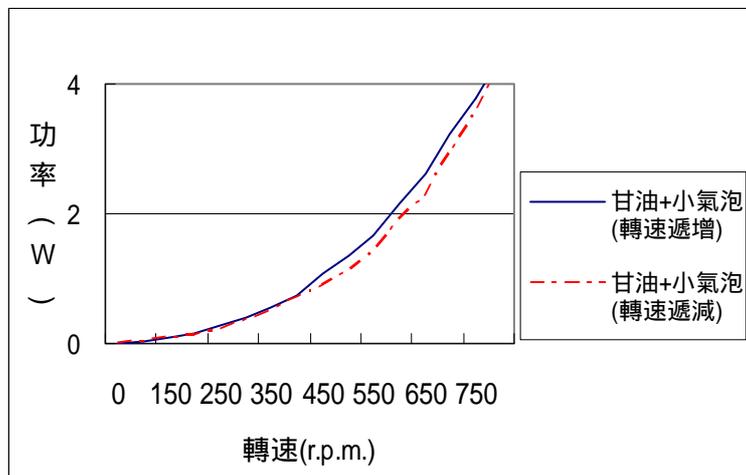


圖七 以甘油+水為流體時，各種情形的功率-轉速關係圖

四、為了避免實驗誤差，我們分別從低轉速到高轉速（轉速遞增）、高轉速到低轉速（轉速遞減）做了實驗，再將做出來的數據繪製成圖後（如圖八、圖九），發現誤差約為±8%。

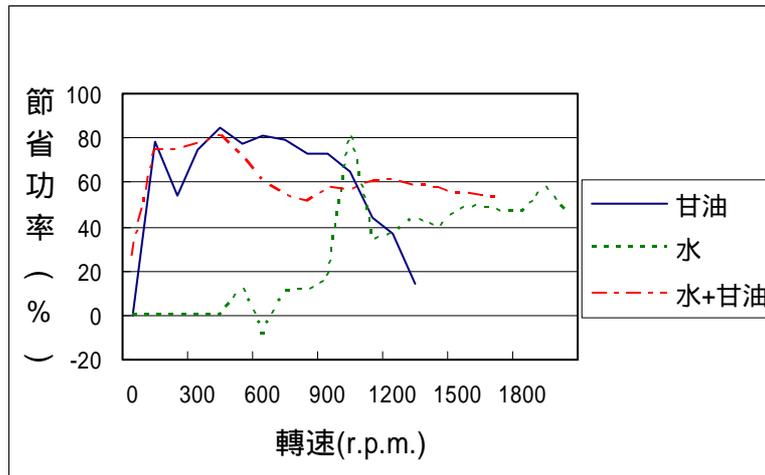


圖八 在水加氣泡的實驗中，加速減速功率-轉速關係圖



圖九 在甘油加氣泡的實驗中，加速減速功率-轉速關係圖

五、圖十是我們根據實驗結果畫出來的節省功率-轉速關係圖，在圖中可明顯看出，甘油在約 200 轉/分時，節省功率突然增高，400~1200 轉/分時大致維持穩定，到了 1200 轉/分之後，節省功率逐漸減少，而水的節省功率幾乎是隨著轉速增高而增加，尤其在 1200 轉/分時驟升，對甘油加水而言，節省的功率則大約在 60%~80%之間，可能因為甘油加水在實驗時溫度變化較小，使得節省功率在高轉速時仍維持穩定。



圖十 節省功率-轉速關係圖

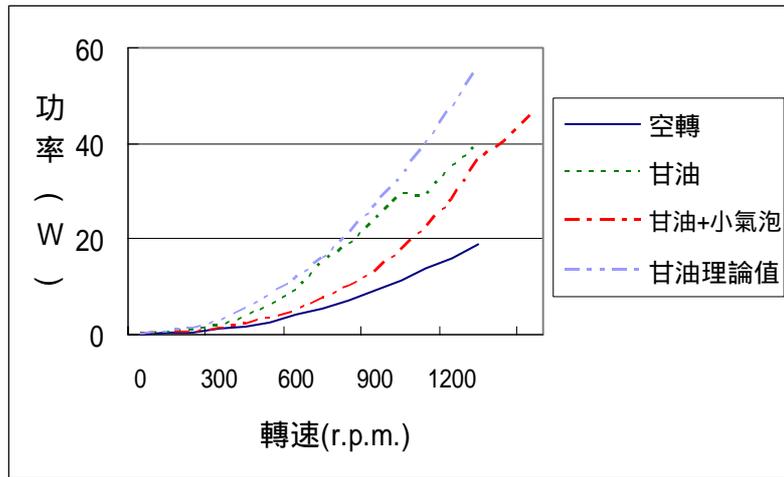
六、為了比較本實驗的量測數據與理論值的差異，我們根據參考資料【5】，可以藉由式子(3)

算出功率消耗的理论值：

$$\Omega_1 \Gamma_1 + \Omega_2 \Gamma_2 = \frac{4\pi\mu(\Omega_1 - \Omega_2)^2 a_1^2 a_2^2 h}{(a_2^2 - a_1^2)} \dots \dots \dots (3)$$

其中 Ω_1 與 Ω_2 分別為內外圓筒的角速度(rad/s)，因為外筒固定不動，所以 $\Omega_2=0$ 。 Γ_1 與 Γ_2 分別為流體作用於內外圓筒的力矩(N·m)， a_1 與 a_2 分別為內外圓筒的半徑(m)， h 為液面高度(m)。而功率消耗的總和即為內外圓筒的角速度與所受力矩的乘積，也就是圓筒的轉動速度(m/s)與所受阻力的乘積。

七、圖十一是以甘油為流體的實驗結果與式子(3)之比較，其中的功率已乘上馬達極數，而較接近真實的輸出功率。比較結果顯示，實驗量測的功率與理論值趨勢一致，即隨轉速增加而增加。另外我們也計算了量測數據的標準差，電壓約 10%~13%；電流約 18%~25%。我們猜測是因轉動而摩擦生熱，導致溫度上升所致。而經量測後，發現溫度最多會上升約 15℃，使甘油的黏滯係數變小【4】，這應是圖十一在高轉速(高於 1000 轉/分)時甘油消耗功率與理論值的差異增大，以及圖十節省功率突然降低的原因。



圖十一 甘油的實驗結果與理論值之比較圖

八、以水為流體的實驗結果則遠大於式子(3)的理論值。經過仔細觀察實驗的情況及計算實驗

的雷諾數 (雷諾數 = $\frac{\rho\Omega_1 a_1 (a_2 - a_1)}{\mu}$ (4)

其中 ρ 為流體密度, a_1 與 a_2 分別為內外圓筒的半徑(m), Ω_1 為內筒的角速度(rad/s),

μ 為黏滯係數) 我們發現雷諾數於本實驗的範圍約在 920~38500, 相當於轉速為 50~2100

轉/分。根據參考資料【2】, 當雷諾數大於 500 左右則轉變為紊流流場, 這時式子(3)即

不適用。剛轉變為紊流流場, 阻力會突然增大很多, 隨著轉速的增加, 阻力將與轉速的

1.7 次方成正比, 功率則與轉速的 2.7 次方成正比, 不再是式子(3)理論的 2 次方。對水的

實驗, 轉速約 30 轉/分 ($\Omega_1 = 3.1416$ rad/s) 即達雷諾數=500。為了比較以水為流體的實

驗結果與理論的差異, 我們估算流場轉變為紊流的消耗功率理論值為:

$$\text{阻力} \times \text{切線速度} = \frac{0.23}{\pi} \left(1 - \frac{a_1}{a_2}\right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^{-0.5} \left[\frac{\rho V_1 (a_2 - a_1)}{\mu}\right]^{-0.3} \left(\frac{1}{2} \rho V_1^2\right) (2\pi a_1 h) V_1$$

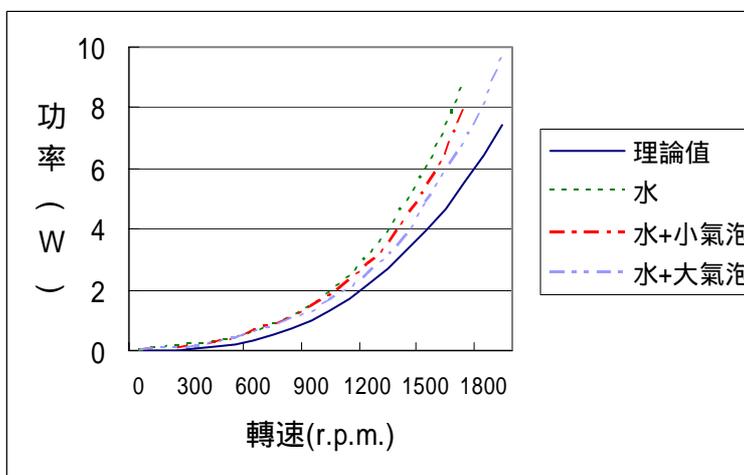
. (5)

其中 $V_1 = a_1 \Omega_1$ 為切線速度(m/s)。上式中阻力與速度、密度、黏度及內外筒半徑的關係

乃參考【6】的經驗公式。

圖十二是以水為流體的實驗結果與式子(5)的理論值之比較。比較結果顯示, 實驗量測

的功率與理論值接近，隨著轉速增加的趨勢亦與理論的預測相當。這說明實驗量測的方式，雖然使用較為簡易的儀器，也能得到準確的數據。



圖十二 水的實驗結果與理論值之比較圖

九、在以水為流體的實驗中，即使沒有外加氣泡，我們仍能在較高轉速時觀察到似乎有少部分氣泡產生，懷疑是否因壓力降低而產生蒸發的現象【7】。首先我們想要利用白努利定律估計內外筒壁面的壓力差：

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \dots \dots \dots (6)$$

其中 P_1 與 P_2 分別為內外筒壁面的壓力， V_1 與 V_2 分別為內外筒的切線速度。這時因為本實驗情況為黏性流場，白努利定律並不適用，但可提高一個理想值。換句話說，實際的內外筒壁面的壓力差因黏性的影響應小於式子(6)的估計值【3】。我們將轉速 2000 轉/分轉換成切線速度為 7.3m/s，代入 V_1 得知內筒壓力會比外筒壓力減少 26645pa，故壓力會由 101300pa 減為 74655pa 左右，就蒸氣壓的觀點來看，應該還不會產生氣泡。因此我們認為較高轉速時有少部分氣泡產生，這可能為液面與空氣接觸攪拌產生的；另一個可能的原因是溶解在水中的小氣泡因壓力減少而膨脹，並在內筒表面與水分離而形成可以看得見的氣泡。我們也認為氣泡數量可能隨壓力減少而增加。

十、第一次用甘油實驗做出來的結果發現加入氣泡的甘油所消耗的功率的確比不加氣泡的功率小了許多，乍看之下我們似乎得到了預期的結果，其實不然，因為加入氣泡後甘油液面會不斷攀升，造成了新的變因。另外，量測的範圍過小，大約只有 80 ~340 轉/分，無法精確的看出差異。為了解決上述問題，我們在甘油中加入少許酒精，改變其表面張力，使液面維持穩定；且換上 50 瓦的馬達之後，已可使轉速達 2000 轉/分左右。

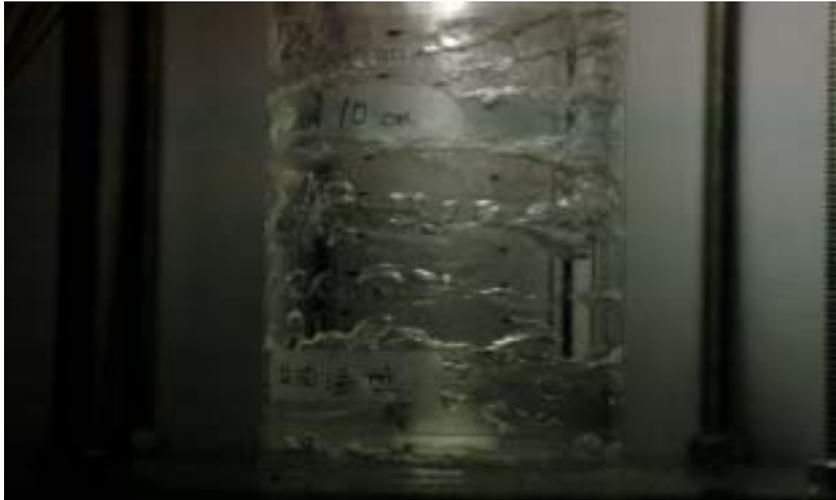
十一、從甘油的實驗中，發現在高轉速且長時間的實驗中，溫度會造成一定的影響，因此我們實驗應注意：

- (一) 避免運轉時間過長，
- (二) 監控溫度的變化。

十二、由式子 (2) 計算表面阻力所需的功率，我們得到在水中加入氣泡後可以減少約 30% 的消耗功率，在甘油中可減少約 65% 的消耗功率，而對甘油加水則可減少約 60%。

十三、另外，我們還做了以氣泡大小為變因的實驗，發現以水為流體時，小氣泡的減阻效應能減少約 30% 的消耗功率，而大氣泡則可減少約 40%。(如圖十二)

十四、在甘油中加入氣泡時，氣泡會形成圓環狀排開部分的甘油，氣泡排開甘油所佔的體積比約為 17% (如圖十四)，而實際排開的表面積應大於此值。其中照相時所用的快門為 1/4000，光圈為 4.0。氣泡在水中直徑約為 6~7mm (如圖十三)，在甘油中會形成氣膜，在甘油加水中直徑大約為 11~12mm (如圖十五)。



圖十三 氣泡在水中的情形



圖十四 氣泡在甘油中的情形



圖十五 氣泡在甘油+水中的情形

陸、結論

我們利用 TC 流場的設備來進行氣泡減阻實驗，得到以下結論：

- 一、在空轉時所消耗的功率最小；而以水加氣泡為流體所消耗的功率比以水為流體小；以甘油加氣泡為流體所消耗的功率比以甘油為流體小；在甘油加水中，加入氣泡所消耗的功率也比只有流體來的小。氣泡減阻的效應，對水可節省約 30% 的功率，對甘油可節省約 65%，對甘油加水則可減少約 60%，且其在較高轉速時，節省功率比起甘油可維持較為穩定的比例。
- 二、以水為流體時，加入大氣泡的減阻效應較小氣泡好，小氣泡的減阻效應能減少約 30% 的消耗功率，而大氣泡則可減少約 40%。
- 三、我們原本希望使氣泡能沿著內筒壁上升，使物體與流體間形成一層空氣薄膜。以減少阻力，但氣泡在水中會不規則的上升，不易控制，只有在黏滯性較大的甘油中會形成環狀氣泡沿內筒壁上升，因此可以嘗試將實驗裝置的內外筒皆改成上寬下窄的形狀（如圖十六），使氣體可以沿著器壁上升形成空氣膜，達到減小阻力的效果。另一種想法則是我們可在內筒壁上加上一層層交錯相疊扇形的葉片，以確保氣泡可以附著在管壁上升。另外，我們還可以在環狀間隙底部嵌入加工後的環狀氣泡石，期待能得到更綿密均勻的氣泡。



圖十六 未來本實驗可能嘗試的圓筒模型

四、本實驗證實物體在流體中行進時添加氣泡能減少消耗的功率，而減阻效率在高速時尤為顯著。因此構想在未來便可使用於在流體行進的物體（如：魚雷、船艦），讓在流體中行進的物體周圍布滿一層空氣膜以節省能量的消耗。

柒、參考資料

- 一、Munson, B. R., Young, D. F., and Okiishi, T. H., *Fundamentals of Fluid Mechannics*, 2nd Ed., Wiley, New York, 1994.
- 二、*Transitions in the Small Gap Limit of Taylor-Couette Flow*
http://www.physics.ohio-state.edu/~reu/03reu/REU2003reports/Hinko_final.pdf (01/15/2005)
- 三、Currie, I. G., *Fundamental Mechanics of Fluids*, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, 1993.
- 四、Benedict, R. P, *Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements*, 2nd Ed., Wiley, New York, 1977.
- 五、White, F. M., *Viscous Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York, 1974.
- 六、Lathrop, D. P., Fineberg, J., and Swinney, H. L., “Transition to Shear-Driven Turbulence in Couette-Taylor Flow,” *Physical Review A*, Vol. 46, No. 10, pp. 6390-6405, 1992.
- 七、Brennen, C. E., *Cavitation and Bubble Dynamics*, Oxford University Press, New York, 1995.

捌、附錄

空轉之實驗紀錄

轉速 r.p.m.	空轉 I	空轉 V						
0	0.02	0	0.02	0	0.02	0.2	0.02	0.3
100	0.06	0.6	0.06	0.6	0.07	0.5	0.07	0.5
200	0.1	1	0.09	1	0.11	0.9	0.09	0.5
300	0.15	1.5	0.13	1.4	0.15	1.3	0.13	1.2
400	0.21	1.9	0.17	1.8	0.2	1.6	0.17	1.6
500	0.26	2.3	0.22	2.2	0.26	2	0.22	1.5
600	0.31	2.7	0.26	2.6	0.31	2.4	0.26	2.3
700	0.37	3.1	0.33	3	0.37	2.8	0.31	2.7
800	0.43	3.5	0.38	3.4	0.42	3.1	0.36	3
900	0.48	3.9	0.41	3.7	0.48	3.5	0.41	3.4
1000	0.56	4.3	0.51	4.2	0.54	3.8	0.45	3.7
1100	0.58	4.6	0.54	4.5	0.59	4.2	0.51	4.1
1200	0.62	4.9	0.63	4.9	0.64	4.5	0.56	4.4
1300	0.68	5.2	0.64	5.2	0.69	4.9	0.61	4.8
1400	0.62	5.4	0.71	5.6	0.74	5.2	0.66	5.1
1500	0.67	5.8	0.82	6	0.79	5.6	0.72	5.5
1600	0.72	6.2	0.75	6.4	0.84	6	0.77	5.8
1700	0.75	6.5	0.87	6.6				
1800	0.81	6.9	0.9	7				

水為流體之實驗紀錄

轉速 r.p.m.	水 I	水 V	水 I	水 V	水 I	水 V	水 I	水 V
0	0.02	0	0.02	0	0.02	0	0.02	0
100	0.03	0.4	0.03	0.4	0.05	0.5	0.06	0.6
200	0.04	0.7	0.04	0.7	0.07	0.9	0.07	0.9
300	0.05	1	0.05	1.1	0.09	1.2	0.08	1.2
400	0.07	1.4	0.07	1.4	0.11	1.6	0.1	1.5
500	0.09	1.8	0.08	1.7	0.13	1.9	0.13	1.9
600	0.12	2.1	0.11	2.1	0.16	2.3	0.16	2.3
700	0.15	2.5	0.14	2.5	0.19	2.7	0.19	2.6
800	0.19	2.9	0.18	2.9	0.22	3	0.22	3
900	0.23	3.3	0.23	3.3	0.25	3.4	0.25	3.4
1000	0.31	3.8	0.31	3.8	0.3	3.7	0.29	3.7
1100	0.39	4.2	0.39	4.2	0.36	4.1	0.33	4.1
1200	0.49	4.7	0.47	4.6	0.42	4.6	0.38	4.4
1300	0.58	5.2	0.57	5.1	0.49	4.9	0.44	4.8
1400	0.72	5.7	0.71	5.6	0.56	5.4	0.5	5.2
1500	0.88	6.2	0.88	6.3	0.64	5.8	0.58	5.7
1600	1.03	6.7	1.08	6.9	0.71	6.2	0.65	6.1
1700	1.19	7.2	1.27	7.4	0.82	6.6	0.74	6.4
1800	1.38	7.8	1.45	8.1	0.87	7	0.82	6.9

水加小氣泡為流體之實驗紀錄

轉速 r.p.m.	水+氣泡 I	水+氣泡 V						
0	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0.02	0
100	0.03	0.4	0.03	0.4	0.05	0.5	0.054	0.5
200	0.04	0.7	0.04	0.7	0.06	0.8	0.06	0.8
300	0.05	1.1	0.05	1	0.08	1.2	0.08	1.2
400	0.07	1.4	0.07	1.4	0.09	1.5	0.1	1.5
500	0.09	1.8	0.09	1.8	0.11	1.8	0.12	1.9
600	0.11	2.1	0.11	2.1	0.14	2.2	0.14	2.2
700	0.15	2.5	0.15	2.5	0.17	2.6	0.17	2.6
800	0.19	2.9	0.19	2.9	0.2	3	0.2	2.9
900	0.24	3.3	0.24	3.3	0.24	3.3	0.24	3.3
1000	0.3	3.8	0.3	3.8	0.27	3.6	0.28	3.7
1100	0.36	4.2	0.37	4.2	0.32	4	0.34	4.1
1200	0.43	4.6	0.43	4.6	0.36	4.4	0.39	4.5
1300	0.5	5	0.51	5	0.44	4.8	0.45	4.9
1400	0.6	5.5	0.61	5.5	0.48	5.2	0.54	5.3
1500	0.68	5.9	0.72	6	0.55	5.6	0.63	5.7
1600	0.8	6.4	0.87	6.5	0.6	6	0.71	6.3
1700	0.9	6.9	1.01	7	0.68	6.4	0.75	6.6
1800	1.09	7.3	1.09	7.4	0.79	6.8	0.85	6.9

甘油為流體之實驗紀錄

轉速 r.p.m.	甘油 I	甘油 V						
0	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03
100	0.08	0.54	0.05	0.47	0.08	0.54	0.05	0.46
200	0.16	1.02	0.09	0.87	0.16	1.02	0.08	0.85
300	0.26	1.51	0.14	1.25	0.26	1.51	0.13	1.23
400	0.4	2.03	0.2	1.65	0.4	2.03	0.18	1.61
500	0.55	2.54	0.27	2.08	0.55	2.54	0.24	2.01
600	0.7	3.01	0.34	2.45	0.7	3.01	0.3	2.4
700	0.85	3.45	0.43	2.88	0.85	3.45	0.38	2.78
800	1	3.9	0.52	3.29	1	3.9	0.46	3.18
900	1.07	4.23	0.62	3.71	1.07	4.23	0.55	3.57
1000	1.1	4.57	0.7	4.08	1.1	4.57	0.65	4.03
1100	1.12	4.83	0.82	4.53	1.12	4.83	0.76	4.45
1200	1.2	5.24	0.92	4.91	1.2	5.24	0.9	4.91
1300	1.23	5.52	1.05	5.32	1.23	5.52	1.07	5.34
1400	1.3	5.89	1.18	5.76	1.3	5.89	1.27	5.84

甘油加氣泡為流體之實驗紀錄

轉速 r.p.m.	甘油+氣泡 I	甘油+氣泡 V						
0	0.02	0.3	0.02	0.3	0.02	0.3	0.02	0.3
100	0.08	0.5	0.06	0.5	0.07	0.5	0.07	0.5
200	0.12	0.9	0.1	0.9	0.1	0.9	0.1	0.9
300	0.17	1.3	0.14	1.3	0.15	1.3	0.14	1.3
400	0.22	1.7	0.19	1.6	0.2	1.6	0.18	1.6
500	0.28	2.1	0.24	2	0.26	2	0.24	2
600	0.34	2.4	0.3	2.4	0.34	2.5	0.3	2.4
700	0.44	2.9	0.38	2.8	0.43	2.9	0.37	2.8
800	0.52	3.2	0.45	3.2	0.53	3.3	0.44	3.2
900	0.6	3.7	0.54	3.6	0.59	3.7	0.51	3.6
1000	0.71	4.1	0.64	4	0.71	4.1	0.6	3.9
1100	0.83	4.5	0.75	4.4	0.82	4.5	0.7	4.3
1200	0.98	5	0.84	4.8	0.91	4.9	0.78	4.7
1300	1.28	5.3	0.95	5.2	1.01	5.3	0.89	5.2
1400	1.21	5.8	1.13	5.7	1.12	5.7	1.04	5.6

體積 1 : 1 的甘油與水混合液為流體之實驗紀錄

轉速 r.p.m.	水+甘油 I	水+甘油 V						
0	0.02	0.2	0.02	0.7	0.02	0.3	0.02	0.2
100	0.05	0.7	0.06	0.8	0.06	0.9	0.07	0.8
200	0.07	1.2	0.08	1.3	0.09	1.3	0.08	1.4
300	0.09	1.7	0.09	1.8	0.11	1.9	0.1	1.8
400	0.12	2.2	0.12	2.2	0.14	2.3	0.12	2.3
500	0.15	2.7	0.16	2.8	0.18	2.9	0.16	2.8
600	0.19	3.2	0.18	3.3	0.22	3.4	0.19	3.3
700	0.24	3.8	0.22	3.7	0.25	3.8	0.21	3.7
800	0.28	4.3	0.27	4.3	0.3	4.3	0.26	4.3
900	0.36	4.9	0.3	4.8	0.4	5.1	0.33	4.9
1000	0.44	5.5	0.36	5.3	0.46	5.6	0.4	5.4
1100	0.51	6.1	0.43	5.9	0.55	6.2	0.47	6
1200	0.63	6.8	0.51	6.5	0.64	6.8	0.56	6.6
1300	0.64	7.1	0.59	7	0.73	7.4	0.66	7.2
1400	0.7	7.7	0.69	7.6	0.84	8	0.75	7.8
1500	0.81	8.3	0.79	8.2	0.94	8.6	0.87	8.5
1600	0.93	8.9	0.91	8.9	1.09	9.3	1	9.1
1700	1.03	9.5	1.04	9.5	1.19	9.8	1.16	9.8

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 物理科

第三名

040108

盛氣凌人—探討氣泡對在流體中行進的物體
阻力之影響

國立臺中女子高級中學

評語：

本件以 Taylor-couette flow 的方法，在空心圓柱狀液體內加入空氣以改變其轉動阻力，並以轉動時所需動率之改變，來探討加入空氣後轉動阻力的變化。以簡單的裝置，測量阻力的改變，但所採取之實驗標本數較少，且對實驗參數也較缺乏定量的量測。