

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 地球科學科

040504

七月鬼風颯～金門塵卷現象的研究

學校名稱：國立金門高級中學

作者： 高一 陳 揚 高一 許哲豪 高一 林倚如	指導老師： 周志強
---	------------------

關鍵詞：龍捲風、塵卷、白努力定律

摘要

金門夏季在空曠平地會出現迷你型的龍捲風，這種熱氣流所引起的地表附近的氣象稱為「塵卷」，本研究即是利用簡易的裝置在水中產生了漩渦並創造了「水中龍捲風」來模擬塵卷現象。

我們利用攪動器產生水漩渦，漩渦將底部的細沙捲起形成塵卷，並探討了影響塵卷的參數。攪拌棒越粗形成的低壓中心越低、塵卷的規模也越大。轉速越快低壓中心的壓力越低、塵卷的規模也較大。攪拌棒越接近底部，形成壓力差的梯度不同塵卷形成的時間也不同，但是塵卷的規模卻相同的結果。

從製造「水中龍捲風」來模擬塵卷現象的實驗中，我們學習到低壓中心如何產生並且造成劇烈的氣流現象。如果我們持續加熱地球而不能正視人類過度發展的結果，未來面對更大極端氣候的威脅！

壹、研究動機

七月盛夏的中午，酷暑金門的空地上有時候會颳起一陣奇特的怪風，由於發生的時間十分接近農曆的七月，所以金門的老人家們管它叫作「鬼風」。鬼風，其實是迷你型的龍捲風！這類迷你型的龍捲風通常發生在非常晴朗的夏日，高度通常不會超過 10 公尺並且不會和天上的雲層連結，所以分類上稱為「塵卷(dust evil)」。¹塵卷也是一種柱狀的垂直旋轉氣流，氣溫較高的時候，如果地面因高溫而形成很強的上升氣流，並且此時有足夠的低層風切加入作用，此時上升的熱氣流就可能做小範圍的氣旋運動，如此便會形成了塵卷現象。

此外，近年來劇烈的氣候成了全球關注的課題！今年四月台灣的南部，也因為快速熱對流，而產生了龍捲風。這時才發現，原來龍捲風不是美國才獨有的氣象現象，我們的生活周遭也時有耳聞！所以興起了我們對於龍捲風探討的興趣。

貳、研究目的

要了解金門塵卷現象，我們就必需在實驗室中進行模擬，並且探討影響塵卷的因素有哪些？所以本研究的目的有：

1. 在實驗室中模擬製造出安全而適合觀察的小型塵卷。
2. 了解哪些參數會影響塵卷形成的規模和產生時間的快慢。
3. 探討這些參數的原理。

參、研究方法

要怎樣能在實驗室中創造出龍捲風呢？我們根據龍捲風形成的原理來思考解決的方法。²⁻³ 如果要在實驗室中利用空氣攪動，將細沙捲上空中是非常不容易的事情。並且因為氣流是很難控制的，所以必需尋找其他的替代方案。後來，物理老師上課時提到沖水馬桶的旋轉方向和颱風轉動方向相反，主要是氣流上升

而水流下降，加上北半球的科氏力作用所以會有順時鐘方向和逆時鐘方向的差異。所以我們想到，如果利用水流產生渦流現象，來製造向上的捲動力量，是不是就可能將細沙捲上來而在水中形成塵卷現象呢？根據老師的建議，我們將原來要研究的漩渦現象轉變成研究發生在金門下季的塵卷現象。

我們的究方法包含了：

1. 利用電動攪拌器攪動燒杯中的水，觀察是否能形成「水中龍捲風」亦即塵卷。
 2. 改變攪拌棒的外徑，
 3. 改變攪拌棒與底層細沙的距離
 4. 改變攪拌棒的轉速，觀察塵卷形成的時間和規模。
 5. 偵測的方法是利用攝影機記錄每次的過程之後，再利用影像軟體將影像的畫格一張一張轉出處理。透過定格觀察，就可以知道塵卷產生的時間及過程。
- 此外，測量塵卷的寬度則可以利用影響軟體，依其寬度和燒杯直徑比率計算得到測量的結果。

肆、設備及器材

1. 設備：電動攪拌器、數位攝影機(相機)、計時器。
2. 器材：大燒杯(1L)、細沙、攪拌棒(外徑：12.7 mm)、攪拌棒(外徑：9.5 mm)、攪拌棒(外徑：8.5 mm)、游標卡尺、儀器架、固定夾。

伍、結果與討論

1. 製造小型的水中龍捲風：

我們選定外徑 12.7mm 的攪拌棒來進行本階段的實驗。在攪拌器後，攪拌棒的圓周及底部和水產生的相對運動，大約 3 秒後，底部的沙子就被攪動上來，形成和龍捲風一樣的景象。

一開始底部的細沙表面產生小型的捲動，如下頁圖 1A 所示。接著一些細沙

會被吸往攪拌棒的底部，如下頁圖 1B 所示。很快的，一個像龍捲風的塵卷就形成在燒杯的下半部分，如下頁圖 1C 所示。而觀察結果發現，以這種方式產生的塵卷型狀為圓柱狀，和陸地上產生的漏斗狀龍捲風形狀不同。

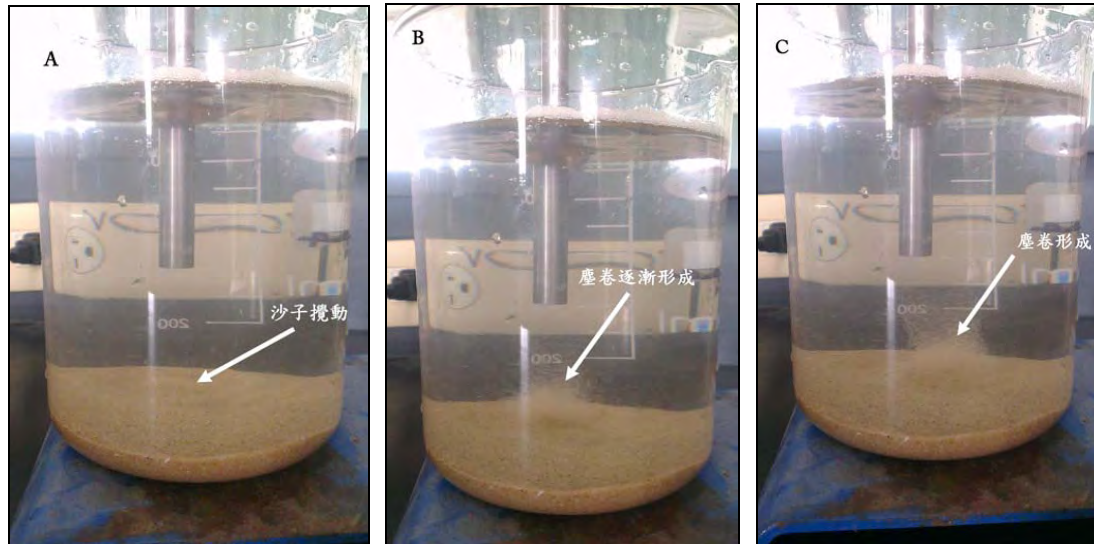


圖 1A：開始攪拌時，底部細沙跟著攪動、圖 1B：塵卷逐漸的形成、圖 1C：塵卷趨於穩定。

為什麼攪拌水，就能讓底部的沙子捲起來，而不是變成混濁呢？它的原理是當攪拌棒轉動的時候，攪拌棒的周圍根據白努力定律而產生低壓中心，如以下方程式(1)所示。

$$h_1 \rho g + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + P_1 = h_2 \rho g + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + P_2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

攪拌棒轉動時，攪拌棒周圍附近的水和攪拌棒表面形成相對運動，所以在水位高度不變了條件下壓力就會變小。也就是周圍以外的水壓力較攪拌棒周圍的水壓力大，所以水就會順著壓力梯度的方向流動，全部擠向攪拌棒的表面，因此形成漩渦。

此外，因為細沙在水中還受到水的浮力作用，加上細沙受到水流牽引，就可以克服細沙本身的重量而上升形成塵卷。觀察的結果，塵卷形成的時間大約都在 3 秒鐘內開始形成。在本實驗中，一開始我們使用直徑只有 1.1 公厘的金屬桿，

但無法形成漩渦及塵卷。所以後來我們改成直徑公厘之後，塵卷就可以輕易的產生。

2. 改變攪拌棒的粗細：

為了證明塵卷形成的原理，我們利用不同粗細的攪拌棒來進行實驗。根據轉動的原理，圓柱體表面的切線速度(v)與圓柱體半徑(r)成正比，並且也和轉速(ω)成正比，如下式(2)所示。

$$v=r\omega \dots\dots\dots(2)$$

因此我們只要改變攪動棒的半徑(外徑)就可改變攪拌棒表面的切線速度，而切線速度即是攪拌棒表面和水的相對速度，因此也會造成不同壓力的低壓中心。本實驗我們固定攪拌棒插入水中的深度為 6cm、並且固定攪拌器的轉速。觀察的結果如下圖 2A~2C 所示，並且我們同時記錄了塵卷出現的時間、達到穩定的時間以及塵卷的直徑。其中，塵卷的直徑即是表示了塵卷的規模，而結果如下頁表一所示。

我們先以游標卡尺測量三個攪拌棒的外徑，分別為：12.7、9.5 和 8.5 公厘，攪拌棒的材料均為不鏽鋼管所製作而成的。接著，我們將他們分別安裝到電動攪拌器上進行實驗，每個尺寸偵測三次，並求取其平均結果。

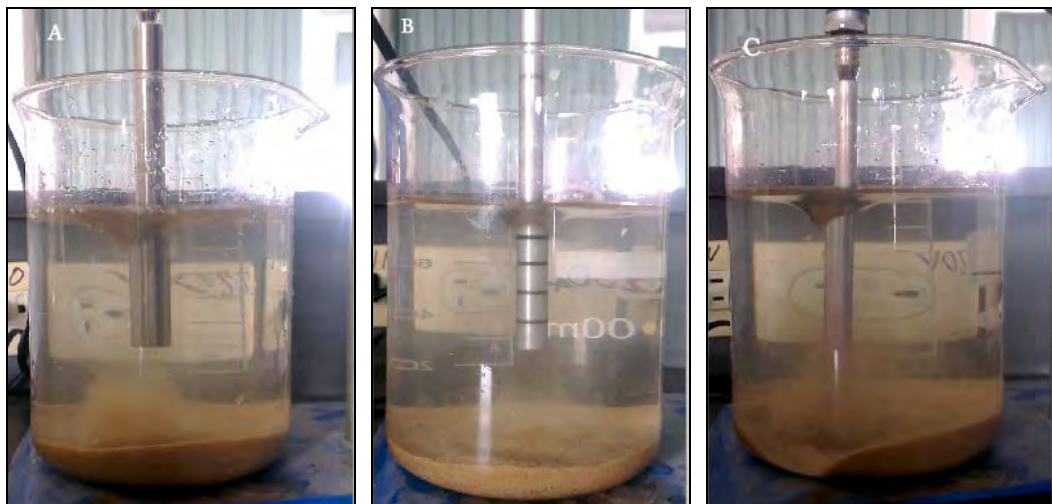


圖 2A：外徑 12.7 公厘、圖 2B：外徑 9.5 公厘、圖 2C：外徑 8.5 公厘的攪拌棒進行實驗。

研究結果顯示外徑 12.7 mm 的攪拌棒出現塵卷的時間平均 2.2 秒、外徑 9.5 mm 的攪拌棒則是 5.1 秒，最細的攪拌棒(外徑 8.5 mm)則在平均 7.5 秒後才出現塵卷現象。而三者所產生的塵卷達到穩定所需的時間，則平均分別為：3.0、5.1、7.5 秒；達到穩定後，三者產生的塵卷平均直徑則分別為：8.7、6.2 和 4.5 公分，如表一所示。這個結果主要是因為攪拌棒表面和水的相對運速度隨著攪拌棒的外徑變大而變快，所以攪拌棒周圍的壓力也會跟著變小。故當低壓中心的壓力越低，形成塵卷的速率更快、規模更大。

表一 攪拌棒外徑與塵卷產生記錄表

攪拌棒外徑 (mm)	產生時間 (sec)	達到穩定的時間 (sec)	穩定時塵卷平均的直徑 (cm)
12.7	2.2	3.0	8.7
9.5	5.1	7.8	6.2
8.5	7.5	14.2	4.5

下頁圖 3 所示為「塵卷出現時間的倒數」和「轉動軸半徑」的關係曲線，塵卷出現時間的倒數意義即是「塵卷產生的速度」，由關係曲線得知轉軸的半徑越粗速度越快。這裡的轉動軸的半徑即是將外徑除以 2，即分別為 6.35、4.75 和 4.25 mm。結果顯示塵卷形成的速率約略與半徑成正比，兩者之間的相關為 $y=0.1584x-0.5474$ ，相關係數為 0.9993。

同樣的，我們亦將「塵卷達到穩定的時間倒數」和「轉軸的半徑」作成關係圖，如下頁圖 4 所示。結果顯示塵卷穩定的速率也是和轉軸半徑成正比，其關係函數為： $y=0.1241-0.4583$ 且相關係數達到 0.9999 顯示其線性關係相當好；由此結果我們得到以塵卷達到穩定的速率可以得到較好的線性關係。

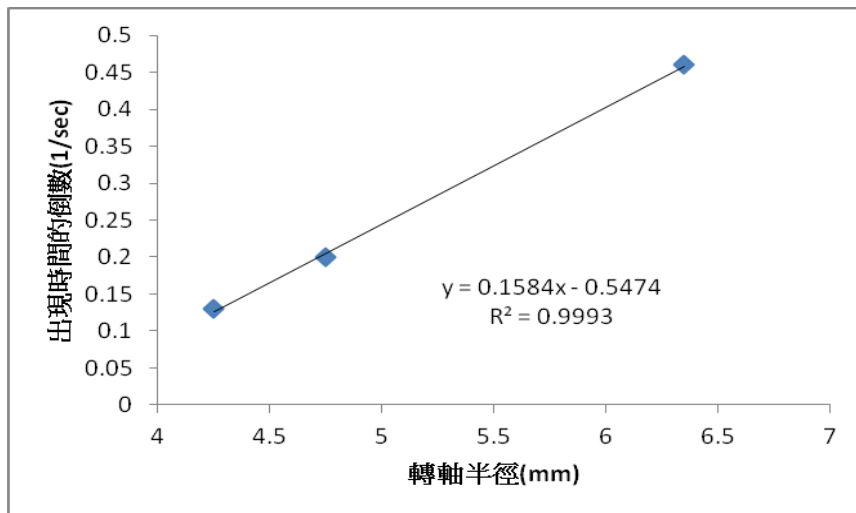


圖 3：塵卷出現時間的倒數和轉動軸半徑的關係圖。

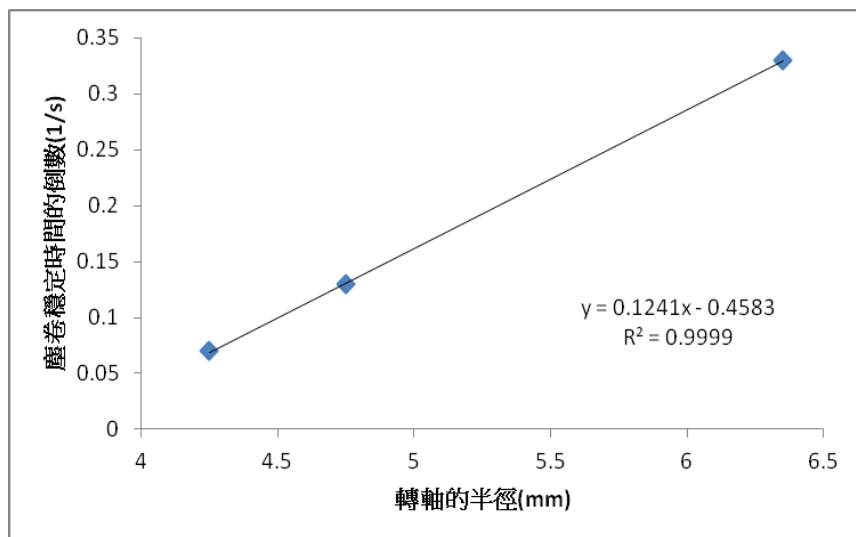


圖 4：塵卷穩定時間倒數與轉動軸半徑的關係圖。

接著，我們將「塵卷的平均直徑」和「轉軸的半徑」作成相關曲線作圖，來了解塵卷規模和轉動軸之間的關係，結果如圖 5 所示。由圖形的結果顯示，塵卷穩定後的半徑和轉軸半徑之間的線性關係較差，約略成正相關。此結果可能是因為塵卷規模的大小和半徑並非簡單的線性關係。根據學理的探討，轉動軸半徑和轉速成正比，但速度比和壓力中心的低壓並非線性關係，且低壓中心的壓力和塵卷規模大小關係亦呈非線性，所以綜合以上結果，我們僅能得到轉軸半徑和塵卷

規模有正相關性。

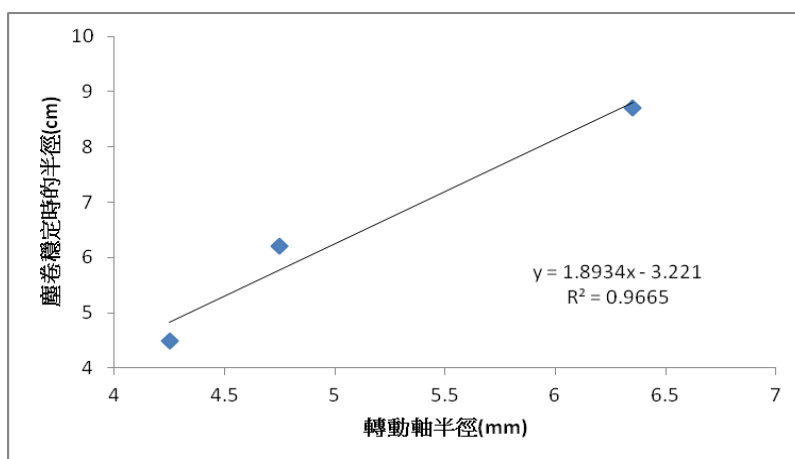


圖 5：塵卷穩定時的半徑和轉動軸的半徑關係圖。

3. 改變攪動棒和底層細砂的距離：

根據白努力定律，緊貼著攪動棒下方的區域壓力較小，故形成了一個上升的浮力。而此壓力差會從攪動棒到細沙表面逐漸增大形成壓力梯度，上升力的大小和梯度成正比。所以攪拌棒離細沙越遠，對細沙的吸力越弱，就需要更長的時間來形成塵卷。亦即，透過觀察形成塵卷的位置，就可知道形成塵卷的臨界壓力梯度。我們利用外徑 9.5mm 的攪拌棒並固定攪拌器的轉速，進行不同深度(即攪拌棒和細沙的距離)的實驗，我們發現攪拌棒的深度必需距離超過 4cm，亦即距離細沙表面需小於 5.5cm 才能產生塵卷。

我依序作了深度 4、5、6、7cm(亦即轉動軸底部和細沙表面的距離分別為 5.5、4.5、3.5 及 2.5 cm)的變化。根據常理判斷，當轉動軸的底部越接近細沙的表面，應該越容易產生塵卷現象。我們測得形成塵卷的時間有逐漸變快的趨勢，如下頁表二和圖 6A~6D 所示。每一個深度均進行了 3 次測量，塵卷形成的平均時間依序為：8.0、6.1、4.2、3.0 秒、塵卷達到穩定的平均時間則分別為：15.3、11.2、6.6 和 4.8 秒。

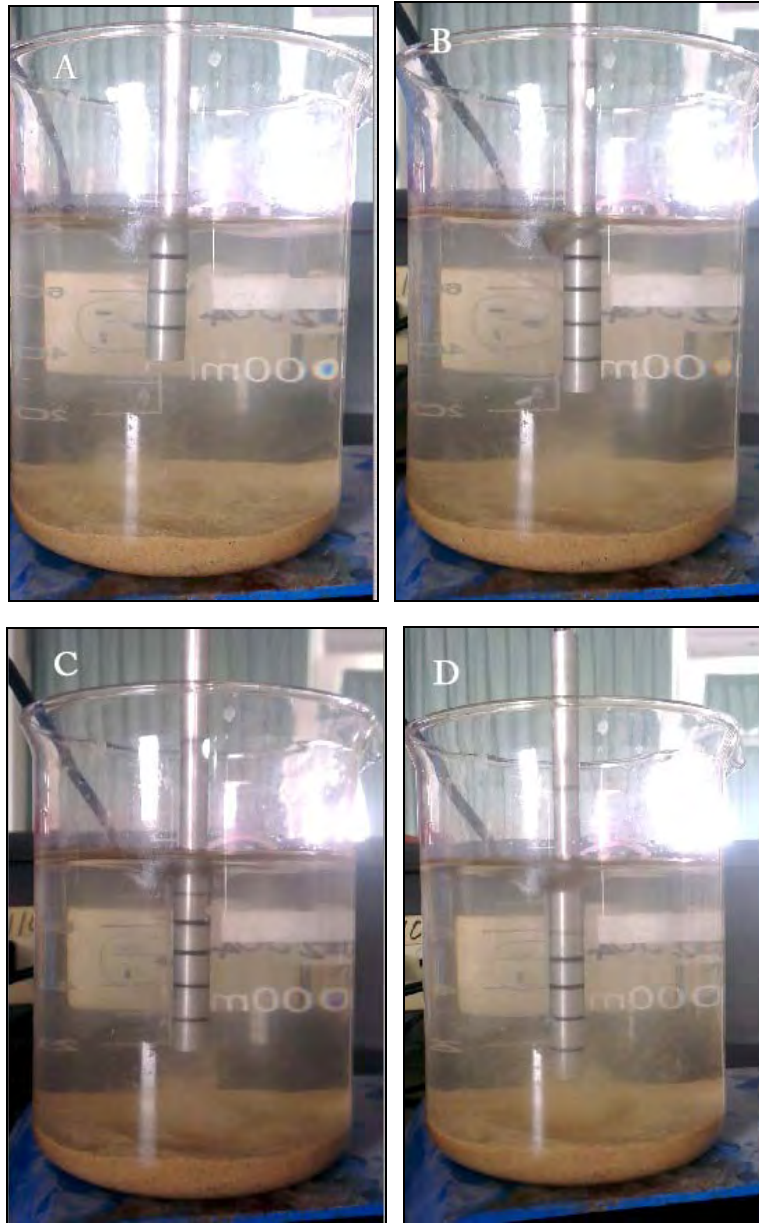


圖 6A：深度 4 cm、3B：深度 5 cm、3C：深度 6 cm、3D：深度 7 cm。

表二 攪拌棒深度與塵卷產生記錄表

深度(cm)/ 與細沙 距離(cm)	形成時間(sec)	達到穩定的時間 (sec)	塵卷直徑
4/5.5	8.0	15.3	5.9
5/4.5	6.1	11.2	5.5
6/3.5	4.2	6.6	5.7
7/2.5	3.0	4.8	5.2

此外，塵卷的直徑變化則較小，平均直徑只略為隨深度增加而變大，塵卷直徑依序為：5.9、5.5、5.7 和 5.2 cm。這顯示塵卷的規模只和攪拌棒的外徑有關，因為在相同的轉速與相同得攪拌棒外徑下，靠近攪拌棒表面產生的低壓力基本上是一樣的(及低壓中心的壓力)，所以產生的塵卷規模最後也會趨於一致。

同樣的，我們將「塵卷出現時間的倒數」和「轉軸與細沙表面的距離」作成關係圖，來了解它們之間的關係，結果如下圖 7 所示。我發現兩者之間大約呈現反比關係，關係函數為： $y = -0.068x + 0.487$ ，關係係數為 0.9593。此一結果顯示，它們之間的線性關係並不是很好，推測主因應該是壓力梯度和距離之間並非簡單的倒數關係，或是壓力梯度與塵卷形成的速率並非簡單的線性關係。所以單純的從塵卷形成的時間和壓力中心和細沙表面(地面)間的距離，我們無法得簡單的線性關係。我們試著以「塵卷穩定得時間倒數」和「轉軸底部和細沙表面距離」作關係曲線，得到和上述相似的結果，如下頁圖 8 所示。

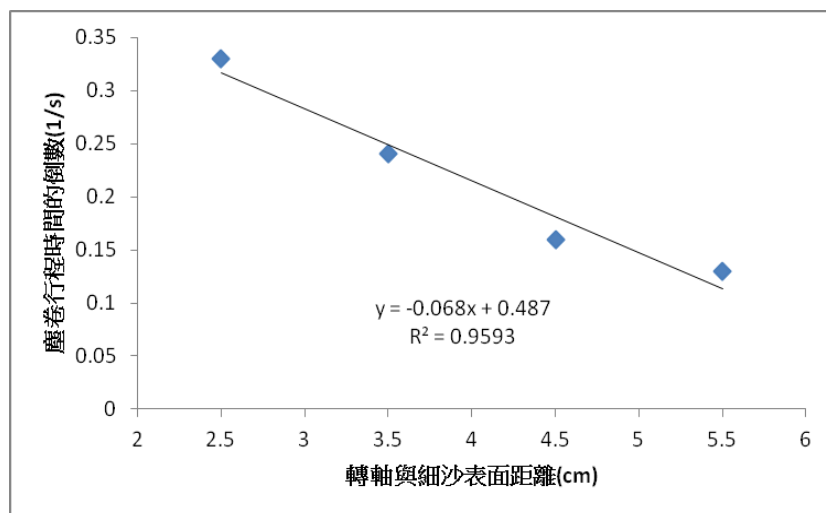


圖 7：塵卷出現時間倒數和轉軸與細沙表面距離的關係圖。

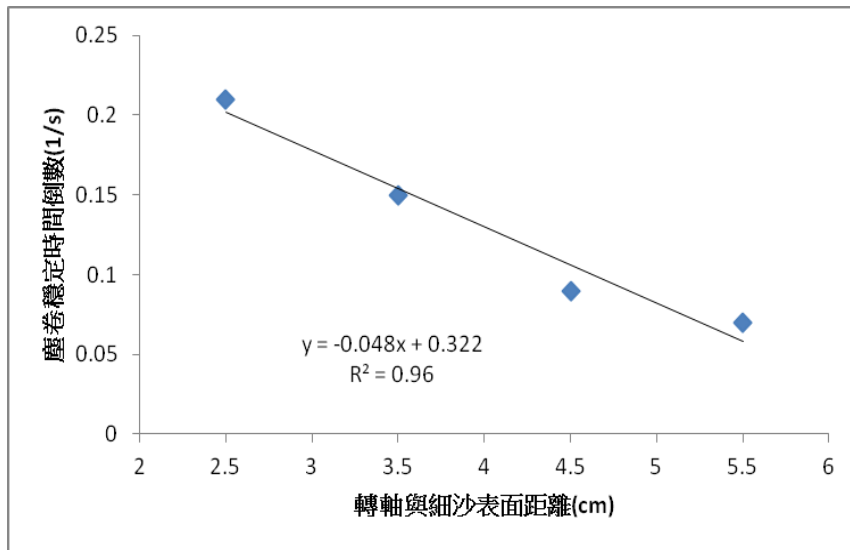


圖 8：塵卷穩定時間倒數和轉軸與細沙表面距離的關係圖。

由表二、圖 7 及圖 8 的結果，我們推測轉動軸與細沙表面的距離決定了壓力梯度，兩者間距離越近壓力差越大、壓力梯度也越大，所以塵卷形成的時間和穩定時間越短。相反的，壓力中心的壓力則決定了塵卷產生時的規模大小，所以相同轉軸半徑和轉速會得到相同的壓力中心，亦即最終形成的塵卷規模(半徑)也會相同。根據此結論，我們推測直接改變攪拌棒的轉速，將會改變塵卷的規模和形成的時間，故在以下的實驗中我們將改變轉動軸的轉速來觀察塵卷形成的現象。

4. 改變攪拌棒的轉速：

接著我們選定外徑 9.5mm 的攪拌棒、攪拌棒的深度則固定在深度 6 cm(即距離細沙表面 3.5 cm)。結果我們發現，轉速越快塵卷形成的時間越快，並且產生的塵卷直徑也越大。

但因為本研究的攪拌器轉速雖然可調，但卻無法設定轉速的值，所以並不能直接得到攪拌器的轉速，所以本實驗我們只選定此一攪拌器最高轉速與最低轉速來進行實驗。最大轉速產生的塵卷平均直徑約等於燒杯的大小(即 15cm)；而最小轉速所產生的直徑則產生的塵卷平均半徑只有 6.5 cm。

陸、結論

根據本研究的結果顯示，利用攪拌的方式我們可以在水中形成類似龍捲風的現象，此現象可以用來模擬金門夏季時因為快速熱對流而產生的「塵卷」現象。因為水的浮力以及水和沙子間的黏滯力，始得塵卷的現象更容易產生，並且更容易控制。所以利用簡單的實驗器材，就能創造水中龍捲風來模擬劇烈的大氣現象，有註於我們利用物理原理來認識規模巨大的氣象現象。

而透過本研究的結果，我們進行了塵卷形成的時間、規模和低壓中心的壓力、壓力梯度的探討。低壓中心的壓力可利用白努力定律原理結合轉動原理來產生，並且透過控制轉動軸的半徑達到控制低壓中心的壓力大小、以及利用壓力中心和細沙表面的距離創造低壓中心與周遭環境的壓力差(壓力梯度)。

我們發現轉速越快可造成較低的壓力，而壓力越低產生的塵卷規模也越大，同時低壓中心與周圍環境的壓力梯也越大，所以塵卷出現與達到穩定的速率也越快。相反的，如果中心壓力固定而只有壓力梯度改變，則反映了塵卷出現的時間較快、最終塵卷規模大小相同的結果。

結合上述的研究結果，我們可以推測出如果大氣及地表的溫度差異越急劇，龍捲風(塵卷現象)產生的頻率及規模也都會跟著提高。今年夏初發生在美國的劇烈龍捲風氣象正透露了這個警訊，全球氣候暖化的劇烈氣候變遷結果造成人類必須面對更大的氣候災害。基於此我們更應該作好環境保育工作，並且減少製造溫室氣體，以減緩目前急遽惡化的極端氣候現象。

柒、展望

了解塵卷現象，讓我們知道近年來極端氣候形成的原理，並且也讓我們體認到大自然的力量。而造成劇烈的氣候現象，卻是起因我們人類過度消耗地球資源，並且製造出改變大氣能量的物質與熱量。面對此一現象，我們現代人不能不深思，如果任其惡化下去，則大自然的反噬將可能造成更大的傷害。幾年前台灣發生的重大水災、近兩年金門的乾旱現象，都是嚴重的警訊。我們必需深卻的體認並改變現在的生活習慣，才有可能減緩極端氣候的發生。

此外，本研究是我們認識物理學和大氣科學之間的關係，透過本次研究我們學會了如何從日常生活中觀察、發想科學現象。並且如何不斷嘗試可能的研究方法，逐漸改良實驗的方法與方向，最後一定可以找到解決的實驗方法。未來，我們希望能夠在學習的過程中，了解理論和自然現象之間的關係。

捌、參考資料

1. 龍捲風。檢索日期：2012 年 10 月 8 日，維基百科：<http://zh.wikipedia.org>
2. 龍捲風。檢索日期：2012 年 10 月 8 日，交通部氣象局官方網站：
<http://www.cwb.gov.tw>
3. 喬婁納。〈2005〉。颱風與龍捲風。台北市：貓頭鷹出版社。

【評語】 040504

探討了金門地區一個夏季有趣的天氣現象，藉由簡單的實驗，描述塵卷的一些特性。然而由於實驗材料及設計的限制，只能表達液體環境實驗所顯示的結果，與真實環境中的塵卷現象之間仍有相當的差異。以對流層的天氣現象而言，塵卷的重要性及影響性也相對較低，是一種發生時間短暫的局部現象，不能算是一個重要的課題。

1.實驗設計具創意，但需考慮真實狀況與實驗裝置的關聯性，提高模擬結果的科學性並延伸到生活應用中，建議可再充實基本概念。

2.模擬實驗有思考，但不夠全面。實驗結果有趣，但並不能針對塵卷現象的了解有所助益。