

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

探究精神獎

080116

球上搖擺跳舞的風-探討球體上不同的幾何圖形
在不同溫度、振動頻率下氣體流動的現象

學校名稱：雲林縣斗六市斗六國民小學

作者： 小四 丁歆恩	指導老師： 黃玫婷 丁崇祺
---------------	---------------------

關鍵詞：黏滯、康達效應

摘要

發現內凹空心紋路一開始會降低風速，寬度超過一定比例會讓風速緩慢提升，而外凸空心紋路發現寬度越高流速越慢；空心凹紋範圍越大流速越快，空心凸紋範圍越大則流速越慢；而紋路深度越深流速越慢，其中凸紋越薄時康達效應越明顯，越厚反而是亂流越明顯；形狀的部分針對凸紋，發現空心形狀紋路球側流速大小為正六邊形 > 正方形 > 星形 > 正三角形 > 圓形 > 正五邊形 >，實心流速則為正方形 > 正三角形 > 正六邊形 > 圓形 > 星形 > 正五邊形。

而球體受風角度越大，其側面流速越快，導致球頂流速變慢；球體越大亂流越明顯且球側流速會越慢；環境空氣溫度越高，因空氣密度變小，讓側面流速變快；空氣振動頻率對有無紋路影響不大，但頻率越高，其流速變化越穩定。

壹、研究動機

一天，弟弟和我一起在家裡玩著氣球，弟弟不小心將吹超大的氣球拍向正在運轉的空氣清淨器上方，沒想到竟然發現氣球就此停留在清淨機上方處，並一直在上下左右振盪且旋轉，這讓我想到了之前在高雄科工館科學園遊會中，曾經有展示氣流的科學遊戲，利用掃葉機將綁成一圈的氣球緩緩吹動，而形成一個很大的滾動甜甜圈，令我訝異不已。

空氣清淨機的風具有讓氣球停在原地以及讓球轉動的力量，這讓我想到了棒球選手投球之後，球有時候也會有很奇妙的運動軌跡，棒球上的紋路是否對球的旋轉有影響，就像氣球尾端的不規則形狀造成旋轉，因此我開始針對各種幾何圖形，凹凸實心以及空氣狀態來觀察通過球體氣流的流向與流速的影響。

貳、研究目的

一、探討球體上幾何圖形種類、深度、大小與條紋寬度對風流動的影響

(一) 球體上凸紋 (二) 球體上凹紋

(三) 不同幾何圖形形狀

二、探討氣體狀態(溫度、頻率)對球體上風流動的影響

三、探討球體大小對風流動的影響

四、探討球體受風角度對球體上風流動的影響

參、研究設備與器材

煙霧製造機	各種保麗龍球	電子游標尺	手機	電暖爐
				
焊槍	3D 列印筆	喇叭	筆記型電腦	風速儀
				
可調方向電風扇	3 軸穩定器與腳架	竹籤	熱電偶溫度計	
				

程式：Audacity

線上量角器：Protractor (https://www.ginifab.com.tw/tools/measuring_angles/)

肆、研究架構圖

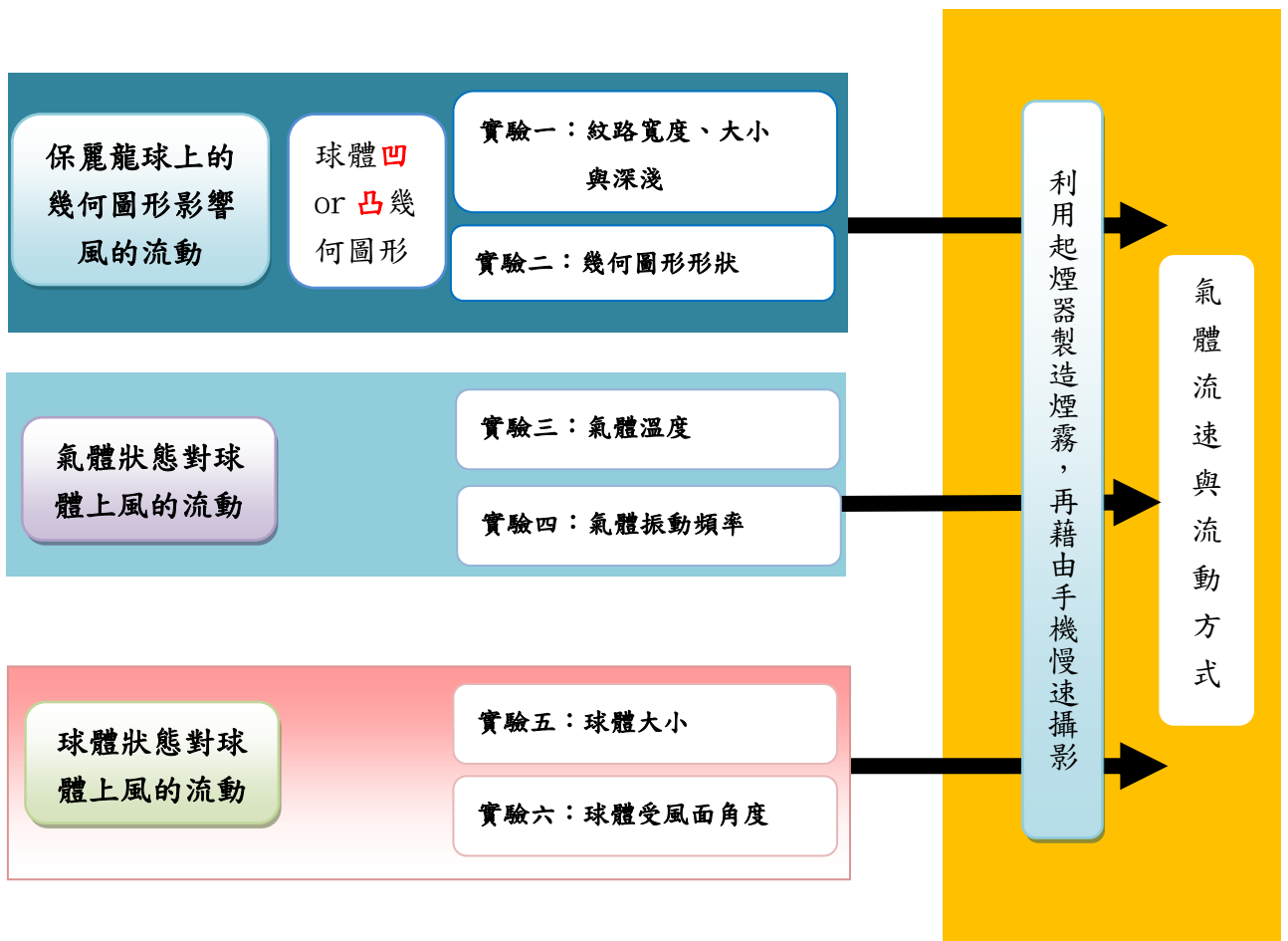


圖 1 研究架構圖

伍、文獻探討

在一開始發現氣球能在空氣清淨機上方停留與旋轉後，查詢資料，這可能會與流體力學有關，首先來針對白努利效應來談，他是描述流體沿著一條穩定、非黏性、不可壓縮的流線移動行為。

其推導出的公式為 $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = \text{定值}$ 。

也就是說在一水平流動流體之內，壓力最低處有最高流速，壓力最高處則有最低流速。那麼對於氣球受風力時，氣球旋轉之下，會造成氣球兩側的壓力不同(流速快壓力小，流速慢壓力大)，而產生力讓球體產生搖擺現象(如右圖3)。(白努利定律, 2018)

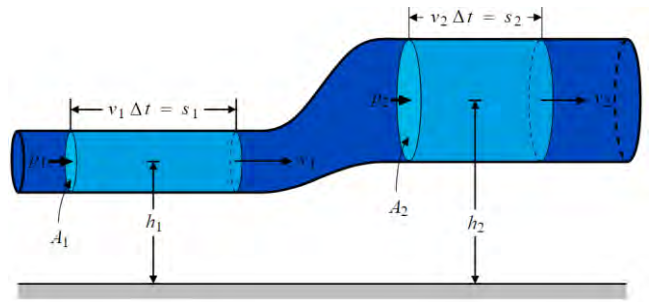


圖 2 白努利效應示意圖



圖 3 氣球受清淨機風力合力示意圖

然而在物理雙月刊，白努利定理的誤解與錯誤應用中，Babinsky (2003)用三點來反駁以上的說法，第一，「白努利」的理論是針對同一道流體在不同位置根據「能量守恆」推導而得(如圖2)。所以相互比較速度(v)與壓力(P)的兩點，必須是在同一道流體，而氣球左右兩邊的氣流，已不算同一道流體。第二，由實驗顯示，氣流繞過旋轉的球或機翼後，通過的氣流並不會同時到達尾端，所以，一側流速快的推論也不符合。第三，白努利公式上僅顯示速度與壓力的大小關係，以牛頓第二定律來判斷壓力的差異應該是速度變化的原因，所以正確的說法應該是“壓力大則速度小”。

因此，「乒乓球」、「變化球」、或「紙片相吸」的任何一種現象，都不能推論出「流速快，空氣壓力小於靜止的氣壓」的說法。

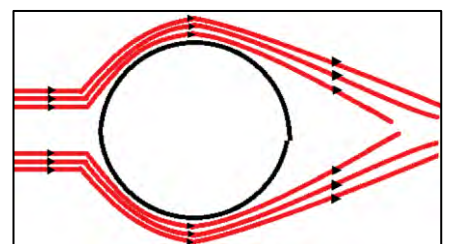


圖 4 康達效應示意圖

那麼是用甚麼來解釋氣球的狀態?文獻也提出說明：

Eastwell (2007)認為此現象應使用「康達效應」來解釋(圖4)，又稱為「附壁效應」。也就是說流體遇到障礙物時(如機翼)，會有沿著障礙物曲面流動的傾向，因流線的彎曲需要向心力，而相對應的反作用力作用於機翼，機翼便會受到拉升，使飛機上昇。Babinsky (2003)

也認同康達效應才是關鍵的原因。並說明彎曲的流線，內外層氣壓會不均等，外層氣壓(向下)會大於內層(向上)，因此合力向下，提供流體彎曲所需的向心力。(張慧貞, 2016)所以我們會在接下來的實驗來檢測風速的變化與影片觀察，來探討球上煙霧顯示出的氣流流向變化可能的原因與康達效應的影響。

陸、研究過程或方法

實驗步驟：

探討球體上幾何圖形對風流動的影響

實驗一：紋路寬度、大小與深淺對風流動的影響

1-1 球體上內凹的圓形紋路

- 1、先將紋路印出並貼上保麗龍球上，再以焊槍熔出相同直徑，五種寬度的圓形條紋以及一個實心的圓形圖案(如右圖5)。(使用電子游標尺分別記錄直徑大小)
- 2、將保麗龍球以竹籤插入並固定在板子上，且紋路位置需放置於側邊中心位置(如右圖6)。
- 3、使用充電電風扇接電源後，放置距保麗龍球正下方20cm處往上吹。
- 4、使用風速計測量保麗龍球紋路側邊與球頂2cm的風速，測量後電風扇關閉後，重新開啟再測量，重複此步驟共十次再取平均值。
- 5、另外將煙霧起煙器引導噴煙，手機放置於三軸穩定器並以4倍速慢速攝影約5分鐘(如右圖7)，並從影片中找出直接流向保麗龍球的適合影片做觀察。
- 6、將其中一空心條紋保麗龍球與實心圓心保麗龍球，利用焊槍改變凹痕深度(使用電子游標尺測量深度)並重複步驟2到5。
- 7、分別以焊槍熔出五種不同直徑大小的圓形凹紋，並重複步驟2到5。
- 8、將未處理過的保麗龍球固定在板上，重複步驟3到5，當成實驗一的對照組。



圖5 不同寬度的圓形條紋與實心圓形

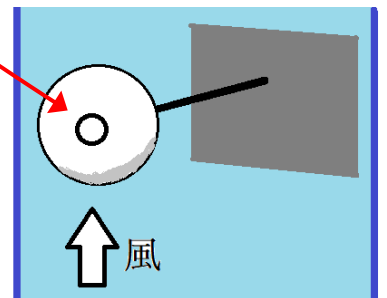


圖6 保麗龍球固定位置



圖7 實際實驗裝置

1-2 球體上外凸的圓形紋路

1、將相同直徑，五種不同寬度的圓形條紋以及一個實心的圓形圖案印出並貼上保麗龍球，並在紋路上以 3D 列印筆畫出圖案。

(使用電子游標尺分別記錄直徑大小)

2、重複實驗 1-1 步驟 2 到 5。

3、將其中一空心條紋保麗龍球與實心圓心保麗龍球，利用 3D 列印筆改變凸痕厚度(使用電子游標尺測量深度)並重複實驗 1-1 步驟 2 到 5。

4、再利用 3D 列印筆作出五種紋路寬度相同，但不同大小的圓形凸紋，重複實驗 1-1 步驟 2 到 5。

實驗二：不同幾何圖形形狀對風流動的影響

1、分別將保麗龍球以 3D 列印筆畫出相同直徑相同寬度的三角形、正方形、正五邊形、正六邊形、星形以及實心的三角形、正方形、正五邊形、正六邊形、星形。

2、重複實驗 1-1 步驟 2 到 5。

探討氣體狀態對球體風流動的影響

實驗三：氣體溫度對風流動的影響

1、使用未處理的保麗龍球當觀察對象，並在噴霧機旁的位置使用電暖爐，提高房間的溫度後慢慢降溫，並利用熱電偶溫度計記錄球側邊的溫度再重複實驗 1-1 步驟 2 到 5。

2、分別利用改變電暖爐距離與強度調整出另外三種溫度，重複步驟 1-2，觀察其差異性。

實驗四：氣體振動頻率對風流動的影響

1、使用無紋路的保麗龍球當觀察對象，在側邊的位置使用喇叭。

2、利用程式 Audacity 調整五種不同的頻率 100、500、1000、5000 與 10000Hz 播放 3 分鐘，重複實驗 1-1 步驟 2 到 5。

探討球體狀態對球體風流動的影響

實驗五：球體大小對風流動的影響

- 1、使用四種不同大小且未添加紋路的保麗龍球當觀察對象，
- 2、重複實驗 1-1 步驟 2 到 5。

實驗六：球體受風面角度對風流動的影響

使用橢圓球體當觀察對象，旋轉方向，改變其側邊角度並重複實驗 1-1 步驟 2 到 5。
 (角度是藉由線上量角器 Protractor 來對照片做測量)

柒、研究結果與討論

實驗一：紋路寬度、大小與深淺對風流動的影響

實驗 1-1 球體上內凹的圓形紋路

圓形紋路寬度：

影片中因為有些照片不明顯，但由影片中慢慢觀察還是可以判斷煙霧的流向，因此從影片截圖後，分別在圖上用箭頭標示來表示當下的流向。

紋路寬度	無紋路				紋路寬度 1.57 mm			
流動狀態								
風速變化	球側	2.89m/s	球頂	2.93m/s	紋路旁	2.27m/s	球頂	2.69m/s

從影片截圖取 3 到 4 張圖觀察，其步驟大致為煙霧靠近球體，接觸球體，包覆球體與離開球體。

紋路寬度	○ 紋路寬度 1.71 mm				○ 紋路寬度 3.32 mm			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	○ 2.47m/s	球頂	○ 2.63m/s	紋路旁	○ 2.58m/s	球頂	○ 2.78m/s
紋路寬度	○ 紋路寬度 4.99mm							
流動狀態								
風速變化	紋路旁	○ 2.64m/s	球頂	○ 2.84m/s				

可以從影片觀察中發現，無紋路時，兩側的煙霧幾乎會同時且快速的通過，且煙霧密度相當，紋路越來越寬的時候，可以發現左側無紋路端的煙霧較快通過，而右側紋路區域似乎會將煙霧拉慢，導致兩側速度有差異，同時有稍微往外擴散的趨勢，而當紋路更粗的時候，煙霧在紋路端停留擴散的情形更嚴重，懷疑內凹的紋路會去吸引氣流，並減慢其氣流速度(如右圖8)。而對於圖形是全凹的情形下反而倒流的情況較小，所以繼續針對風速變化來做驗證。

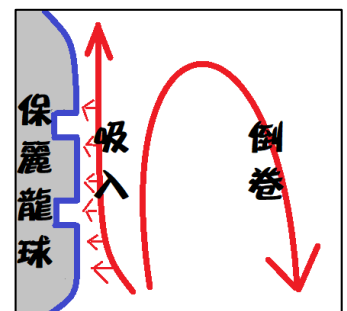


圖 8 氣流通過紋路狀態示意圖

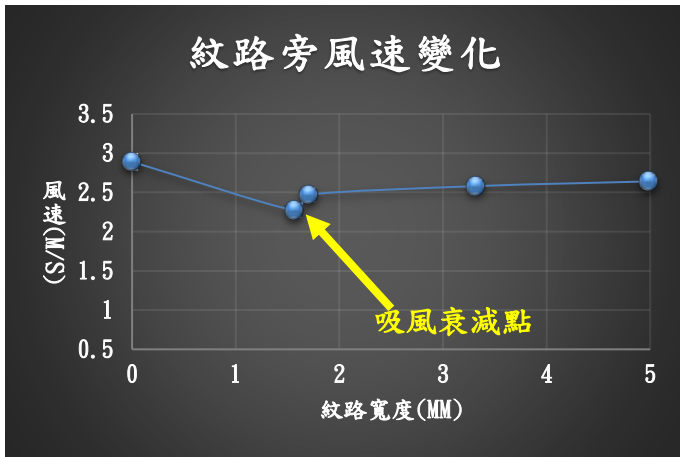


圖 9 凹紋寬度對紋路旁風速變化圖(n=10)

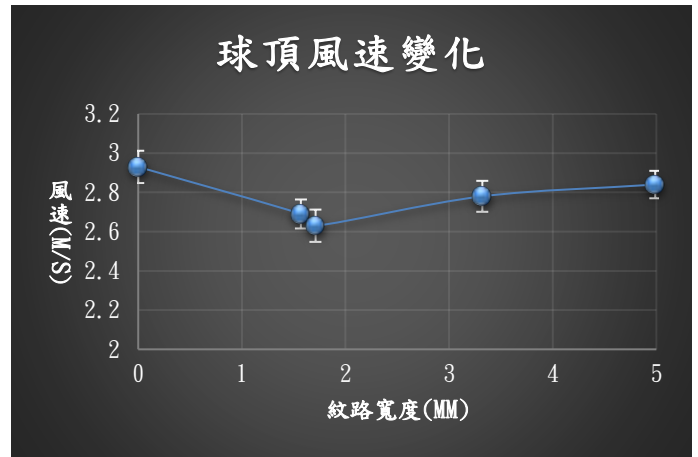


圖 10 凹紋寬度對球頂風速變化圖(n=10)

從圖 9 與圖 10 可以發現球體上方的風速會隨著紋路旁的風速變化而變化，且球頂的風速變化會比紋路旁的風速變化稍微延遲，另外發現在內凹圖形大小一定時，紋路的寬度影響風速有限，顯示只要有紋路，就會吸引風量，而且紋路大到一定的比例時，吸引風量的能力有在衰減當中，所以接下來針對紋路範圍大小來探討風流動的影響。

圓形紋路範圍大小：

紋路範圍	無紋路				● 紋路範圍大小 13.95 mm			
流動狀態								
風速變化	球側	2.89m/s	球頂	2.93m/s	紋路旁	2.35m/s	球頂	2.40m/s

紋路範圍	● 紋路範圍大小 18.17 mm				● 紋路範圍大小 21.89 mm			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.19m/s	球頂	2.37m/s	紋路旁	2.14m/s	球頂	2.41m/s
紋路範圍	● 紋路範圍大小 22.62 mm							
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.07m/s	球頂	2.52m/s				

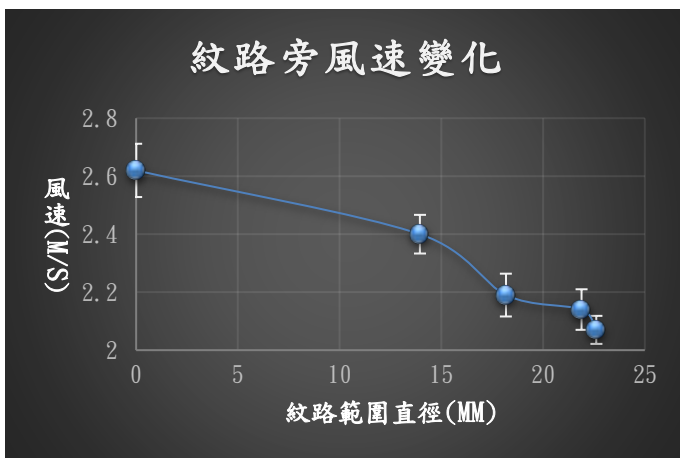


圖 11 凹紋範圍對紋路旁風速變化圖(n=10)

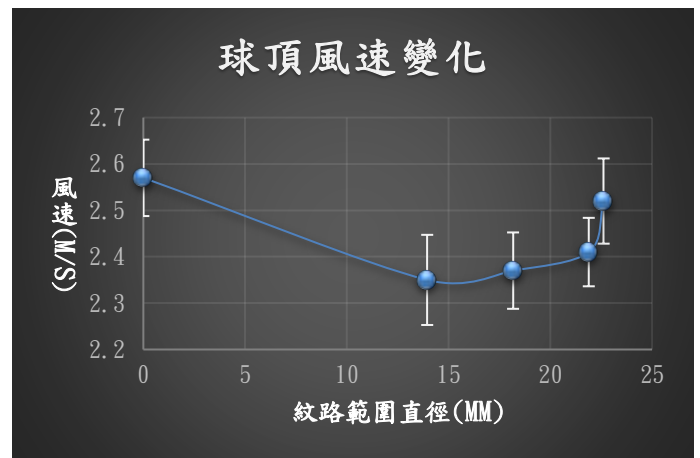


圖 12 凹紋範圍對球頂風速變化圖(n=10)

由上頁圖 11 可以發現，紋路範圍越大，其紋路上的風速越慢，導致球頂風速變大越明顯，且紋路越大煙霧範圍也越大，可能是因為速度變慢，而造成煙霧往側面擴散的原因或是像所看的影片中煙霧形成迴流的狀態所影響。另外綜合前兩個實驗可以得知，當紋路的風速越慢時，同時也會讓球體上方風速變快，推測是當紋路的風壓越大，風速越慢，而讓球體周遭的風因風阻之故而往球體其他方向繞，而造成最後集中在球體上方使風速變快。

圓形紋路深度：

紋路深度	紋路深度 1.65 mm				紋路深度 5.26 mm			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.41m/s	球頂	2.57m/s	紋路旁	2.21m/s	球頂	2.66m/s
紋路深度	紋路深度 8.98mm				紋路深度 12.30mm			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.05m/s	球頂	2.78m/s	紋路旁	1.76m/s	球頂	2.91m/s

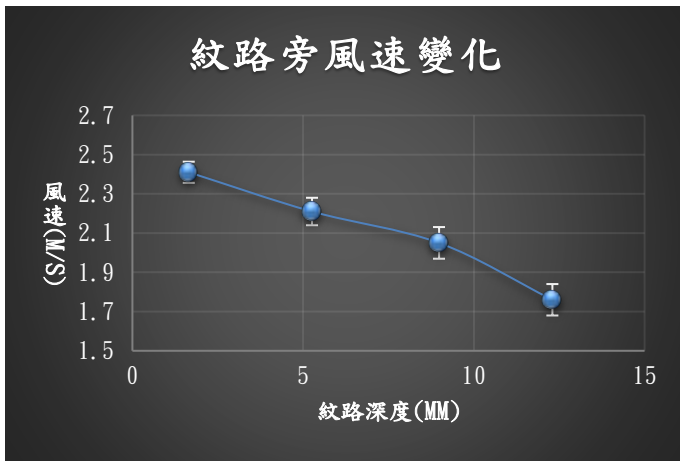


圖 13 凹紋深度對紋路旁風速變化趨勢圖(n=10)

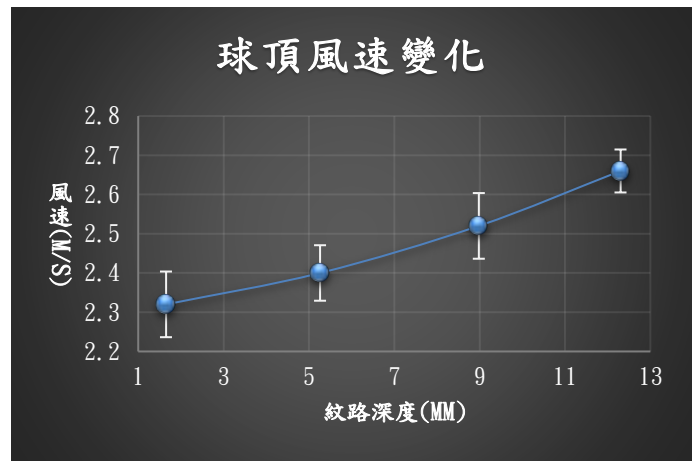


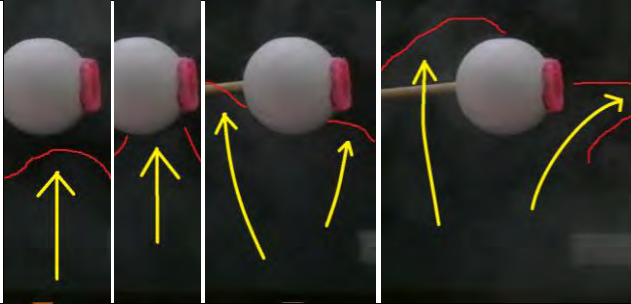
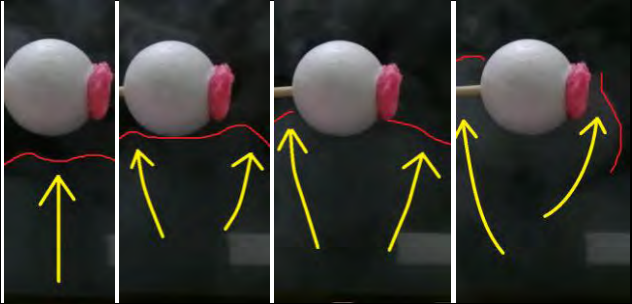




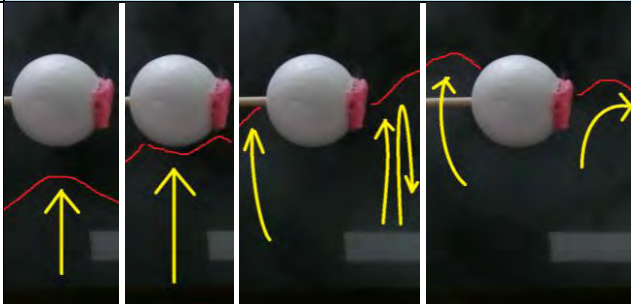
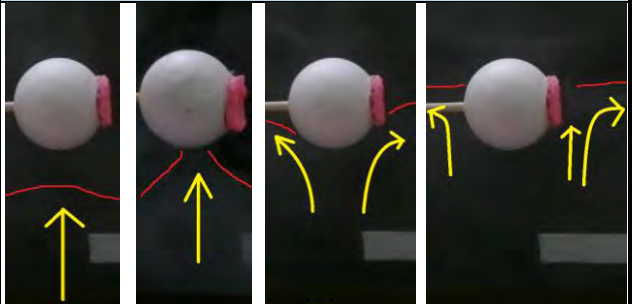




圖 14 凹紋深度對球頂風速變化趨勢圖(n=10)

從圖 13 可以發現，紋路深度越深時，風速影響會越大，表示風會被深紋所吸引而讓風速變慢，綜合前面實驗也可以發現，紋路的深度影響風速比紋路範圍更加劇烈。同時也很明顯的看出，球頂風速越快，其紋路上的風速越慢。

實驗 1-2 球體上外凸的圓形紋路

圓形紋路寬度：

紋路寬度	無紋路				紋路寬度 2.12 mm			
流動狀態								
風速變化	球側	2.89m/s	球頂	2.93m/s	紋路旁	2.82m/s	球頂	2.71m/s

紋路寬度	○ 紋路寬度 2.33 mm				○ 紋路寬度 3.67 mm			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	 2.78m/s	球頂	 2.58m/s	紋路旁	 2.73m/s	球頂	 2.24m/s
紋路寬度	○ 紋路寬度 4.23mm				● 實心 (21.49mm)			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	 2.68m/s	球頂	 2.42m/s	紋路旁	 2.59m/s	球頂	 2.51m/s

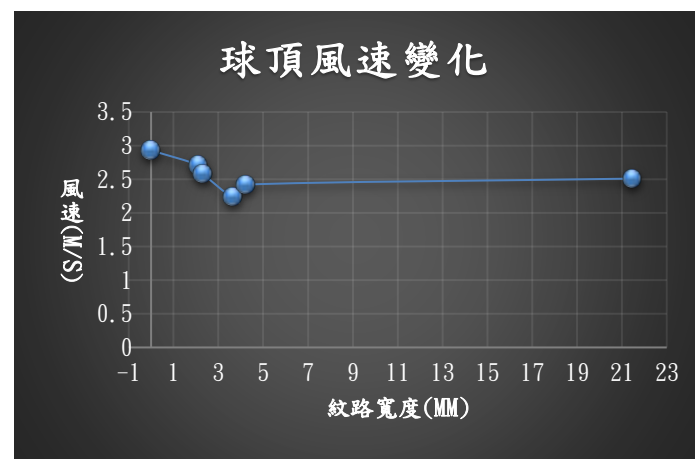
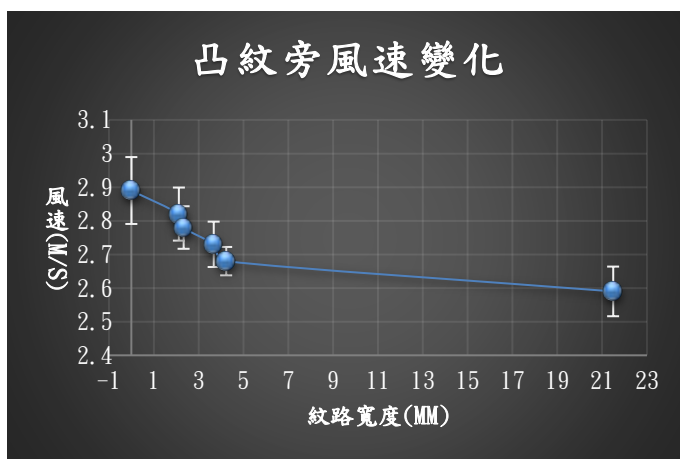


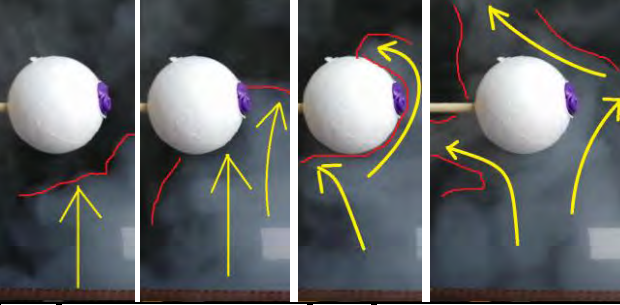
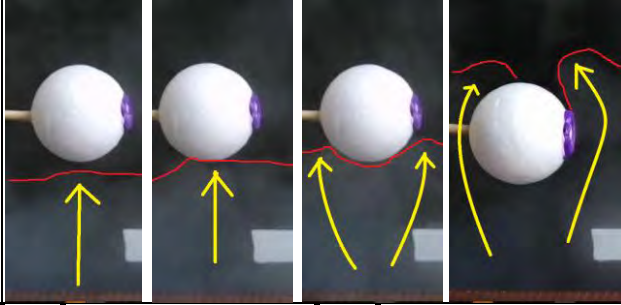


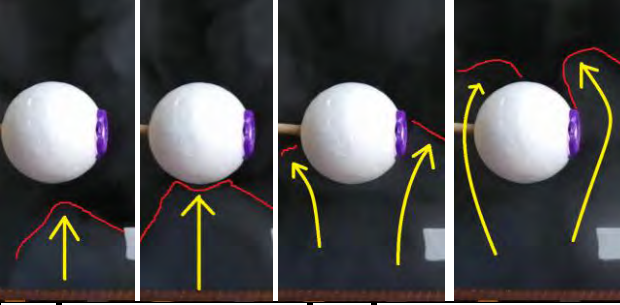
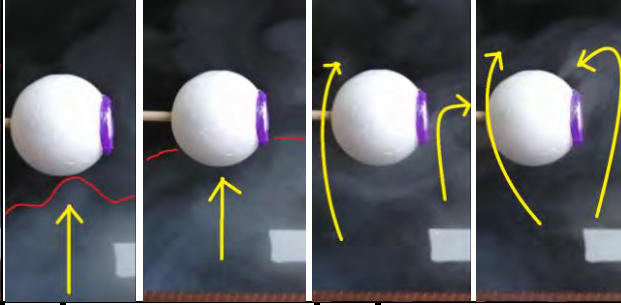


圖 15 凸紋寬度對紋路旁風速變化圖(n=10)

圖 16 凸紋寬度對球頂風速變化圖(n=10)

從圖 15 與 16 可以發現，外凸與內凹類似，都是要一定的寬度(3~5mm)影響會減弱，差別在於凹紋越寬越接近無凹紋的情形，其紋路旁風速會慢慢提升，而凸紋越粗，紋路旁風速則越來越慢，可以從實際影片來看，可觀察到煙霧密度越來越高且開始往外側移動。

圓形紋路範圍大小：

紋路範圍	 紋路範圍大小 13.95mm				 紋路範圍大小 18.17mm			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.59m/s	球頂	2.50m/s	紋路旁	2.33m/s	球頂	2.27m/s
紋路範圍	 紋路範圍大小 21.89mm				 紋路範圍大小 22.62mm			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.08m/s	球頂	1.97m/s	紋路旁	2.06m/s	球頂	1.74m/s

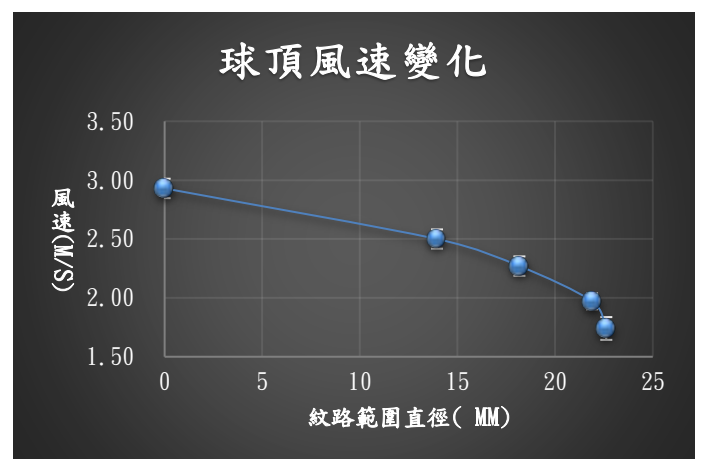
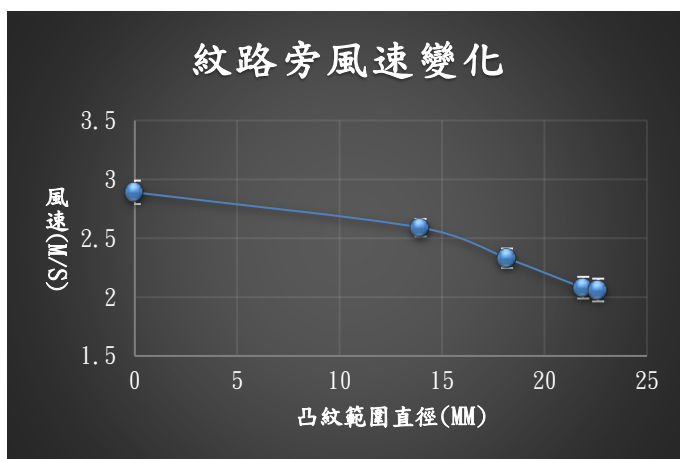




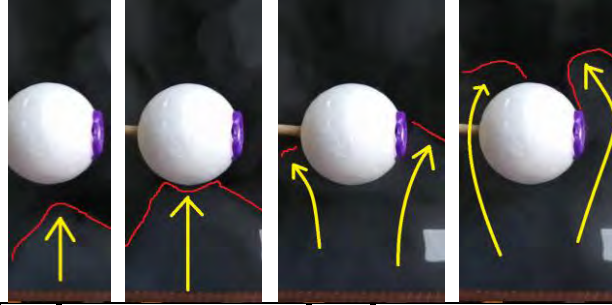
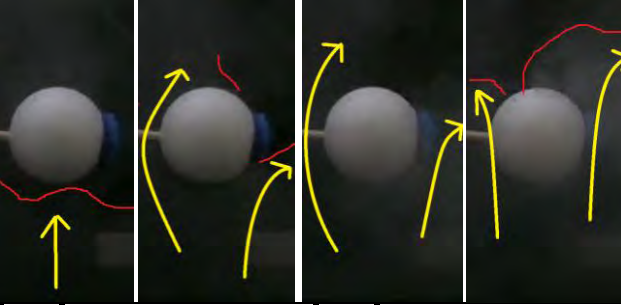




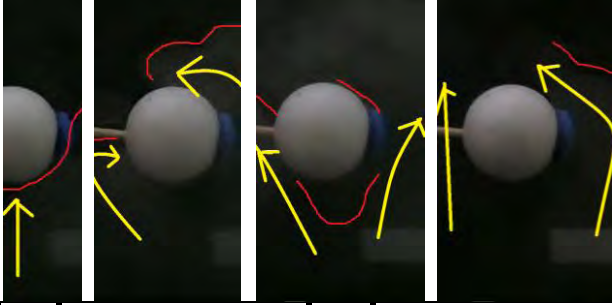
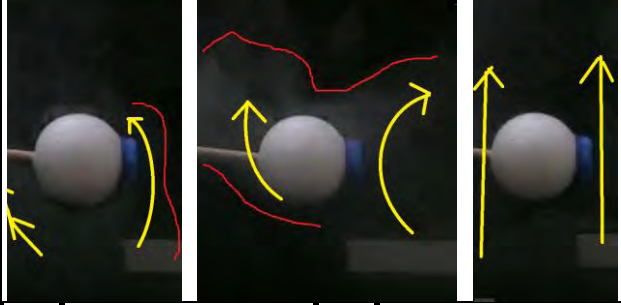


圖 17 空心凸紋範圍直徑對紋路旁風速變化圖(n=10) 圖 18 空心凸紋範圍直徑對球頂風速變化圖(n=10)

由圖 17 可以發現凸紋範圍越大，風速越減緩，球頂的風速減緩趨勢會比凸紋上方稍微慢一些。同時在影片中可以發現紋路範圍越大，紋路吸引氣流進洞越明顯，可以看到周遭的煙霧較為濃厚，推測是產生康達效應讓風速變慢。

圓形紋路深度：

紋路深度	 紋路深度 3.21mm 				 紋路深度 4.28mm 			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.25m/s	球頂	2.41m/s	紋路旁	1.82m/s	球頂	1.92m/s
紋路深度	 紋路深度 6.11mm 				 紋路深度 8.21mm 			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	1.57m/s	球頂	2.62m/s	紋路旁	1.58m/s	球頂	2.79m/s

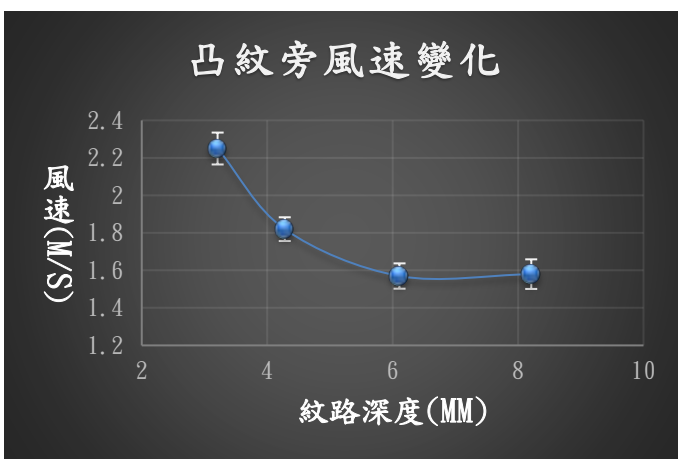


圖 19 空心凸紋深度對紋路旁風速變化(n=10)

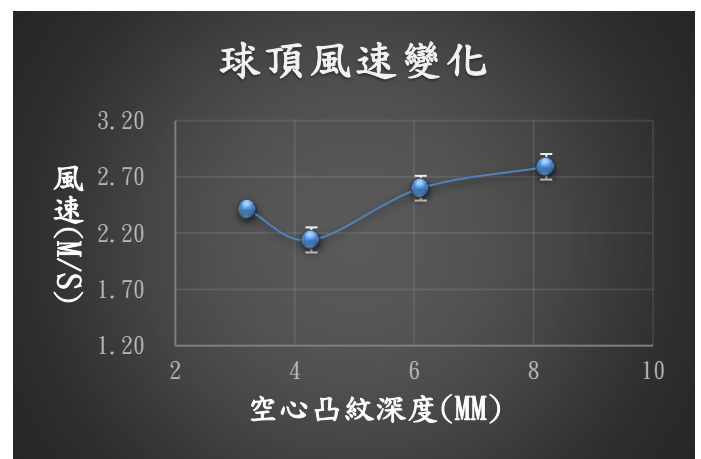

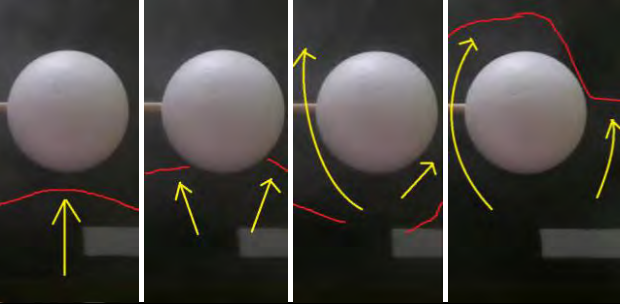
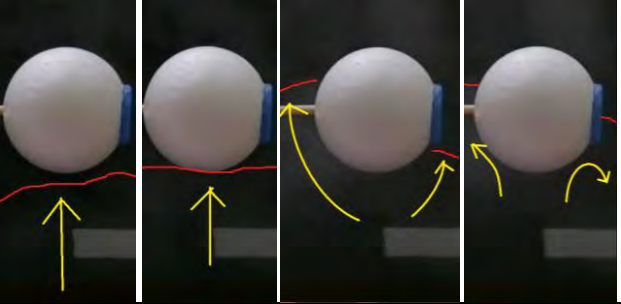






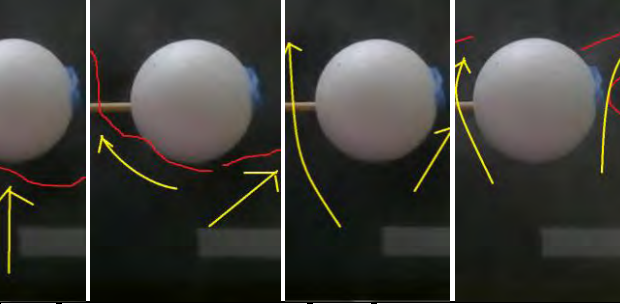
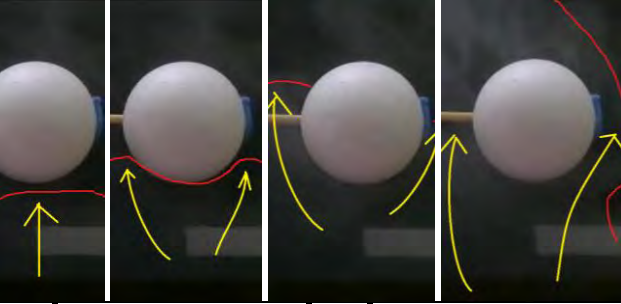






圖 20 空心凸紋深度對球頂風速變化(n=10)

可以發現在一定的厚度下，凸紋越厚，紋路上方測得風速越慢，但超過限制後，開始有流速減緩變慢的情形，越厚會越來越往實心的情形靠近，與空心凹痕相反，另外從影片中可以得知，厚度越厚，氣流產生迴流的情況越明顯。

實驗二：不同幾何圖形形狀對風流動的影響

外凸空心紋路：

紋路形狀	無紋路				 圓形			
流動狀態								
風速變化	球側	 2.33m/s	球頂	 1.98m/s	紋路旁	 2.58m/s	球頂	 2.14m/s
紋路形狀	 三角形				 正四邊形			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	 2.50m/s	球頂	 2.21m/s	紋路旁	 2.68m/s	球頂	 1.99m/s

紋路形狀	正五邊形				正六邊形			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.43m/s	球頂	2.08m/s	紋路旁	2.72m/s	球頂	2.17m/s
紋路形狀	星形							
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.62m/s	球頂	2.11m/s				

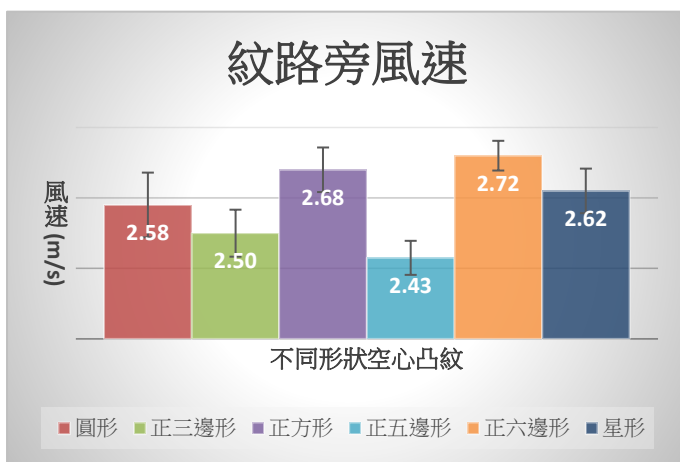


圖 21 不同空心形狀紋路旁風速圖(n=10)

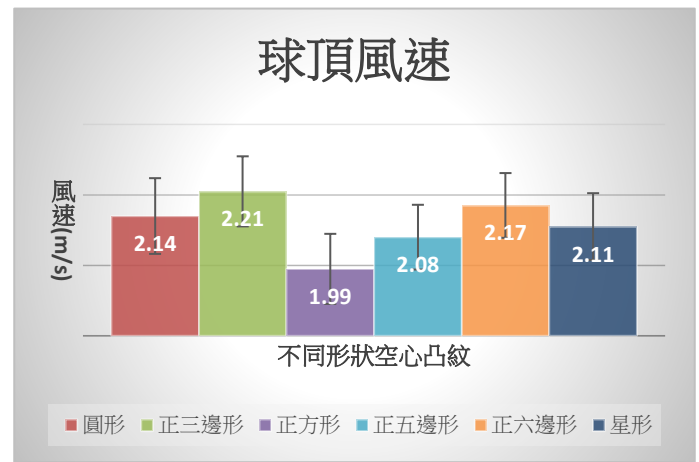

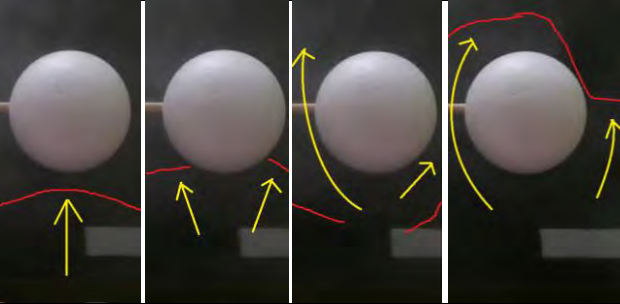
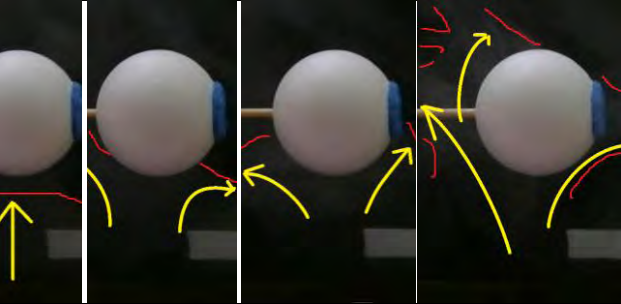






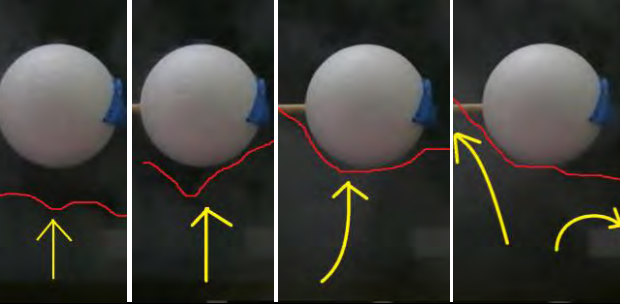
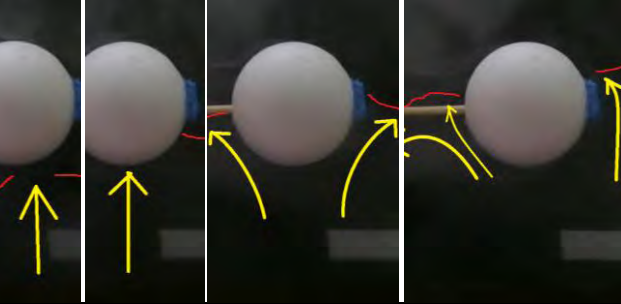






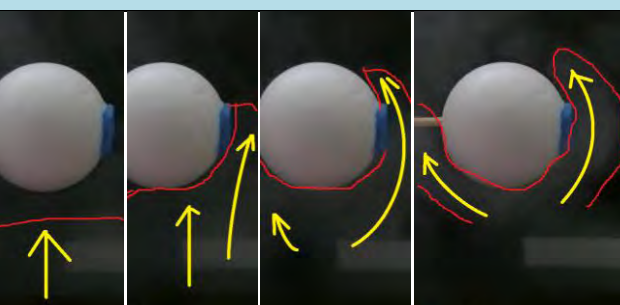
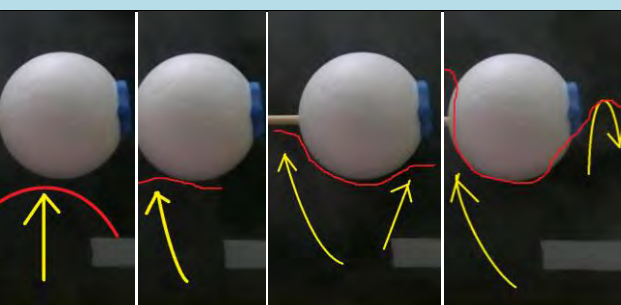





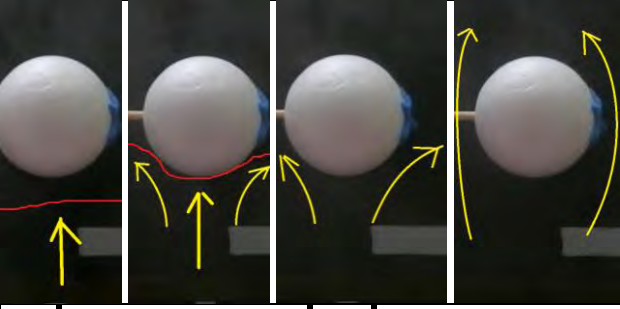




圖 22 不同空心形狀球頂風速圖(n=10)

從圖 21 可以發現某些紋路風速較快的原因很可能是因為風流動方向的傾向所影響，可以看出圓形、正六邊形、正方形的風比較容易沿著主體繞過去，而正五邊形上面兩角會讓風沿兩側方向跑掉，而讓我在紋路旁測量出風速較慢的情形。

外凸實心紋路：

紋路形狀	無紋路				 圓形			
流動狀態								
風速變化	球側	 2.33m/s	球頂	1.98m/s 	紋路旁	 2.35m/s	球頂	2.91m/s 
紋路形狀	 三角形				 正四邊形			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	 2.51m/s	球頂	2.69m/s 	紋路旁	 2.53m/s	球頂	2.63m/s 
紋路形狀	 正五邊形				 正六邊形			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	 2.02m/s	球頂	2.80m/s 	紋路旁	 2.44m/s	球頂	2.81m/s 

紋路 形狀	 星形			
流動 狀態				
風速 變化	紋 路 旁	 2.19m/s	球 頂	 2.59m/s

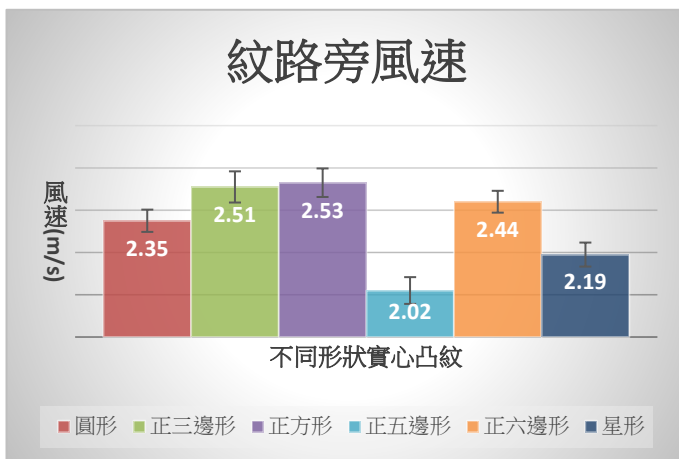


圖 23 不同實心形狀紋路旁風速圖 (n=10)

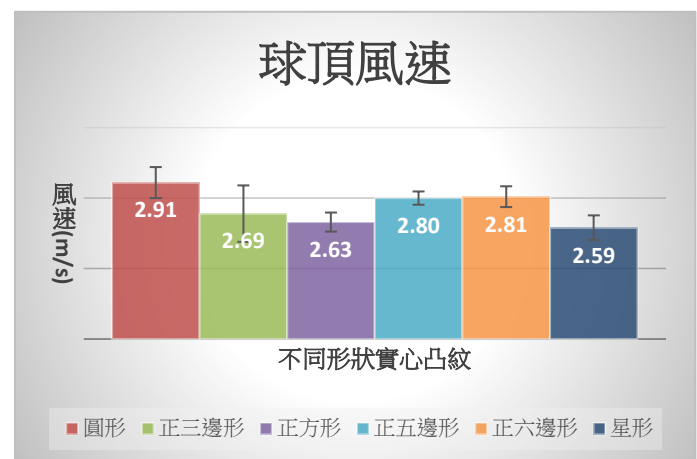


圖 24 不同實心形狀球頂風速圖 (n=10)

當實心紋路的時候，風變得不會被吸入的狀態，而是從邊緣快速地流過，而星形與正五邊形主要是因為角是往其他方向，推測對風的引導會導向其他地方，導致在紋路上的風速測量會有比較慢的情況。

實驗三：氣體溫度對風流動的影響

溫度	26.6°C				32.8°C			
流動狀態								
風速變化	球側	2.33m/s	球頂	1.98m/s	球側	2.54m/s	球頂	2.44m/s
溫度	33.1°C				34.1°C			
流動狀態								
風速變化	球側	2.94m/s	球頂	2.81m/s	球側	4.13m/s	球頂	3.14m/s
溫度	34.4°C							
流動狀態								
風速變化	球側	5.07m/s	球頂	4.09m/s				

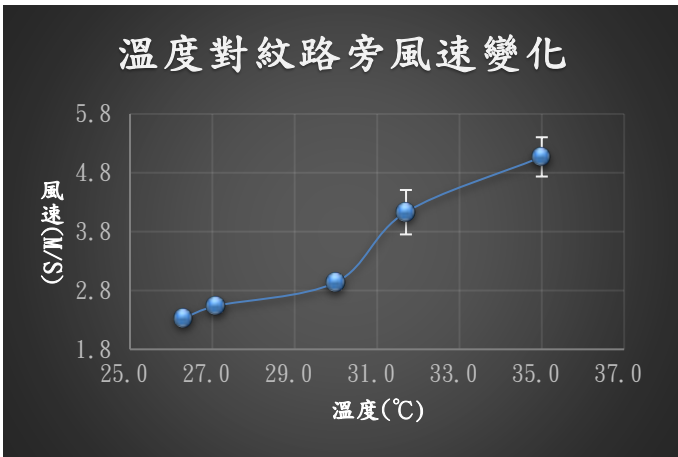


圖 25 溫度變化對紋路旁風速變化圖(n=10)

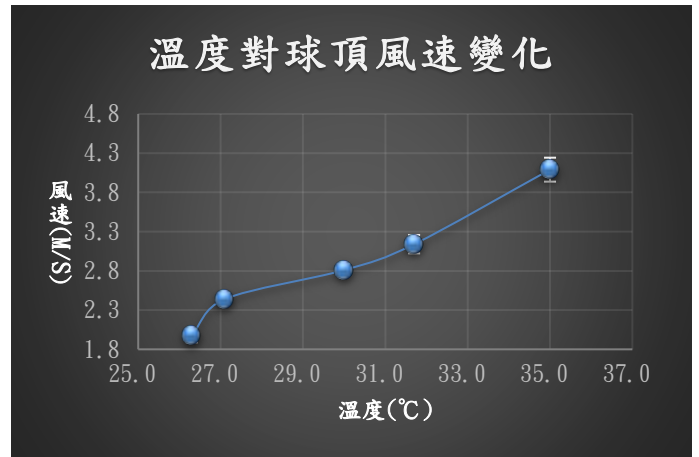


圖 26 溫度變化對球頂風速變化圖(n=10)

實驗是以直徑為 37.94 mm 的球來觀察，從觀察可以發現溫度越高，風速越快，且停留在紋路的時間也越短，也可以看出溫度越高，煙霧會在短暫時間內就會很快消散，對球體的黏度越低，所以也沒觀察到煙霧有側向擴散的情形，由風速的變化也可以看出來，溫度越高，整體風速都變快了。

實驗四：氣體振動頻率對風流動的影響







無紋路：

振動頻率	100 Hz				500 Hz			
流動狀態								
風速變化	球側	2.34m/s	球頂	1.98m/s	球側	2.35m/s	球頂	2.04m/s





振動頻率	1000 Hz				5000 Hz			
流動狀態								
風速變化	球側	2.43m/s	球頂	2.12m/s	球側	2.40m/s	球頂	2.14m/s
振動頻率	10000 Hz							
流動狀態								
風速變化	球側	2.47m/s	球頂	2.23m/s				

外凸空心：

振動頻率	100 Hz				500 Hz			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.34m/s	球頂	2.17m/s	紋路旁	2.43m/s	球頂	2.32m/s

振動頻率	1000 Hz				5000 Hz			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	 2.41m/s	球頂	 2.25m/s	紋路旁	 2.35m/s	球頂	 2.60m/s
振動頻率	10000 Hz							
流動狀態								
風速變化	紋路旁	 2.53m/s	球頂	 2.80m/s				

外凸實心：

振動頻率	100 Hz				500 Hz			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	 2.38m/s	球頂	 3.21m/s	紋路旁	 2.35m/s	球頂	 3.10m/s

振動頻率	1000 Hz				5000 Hz			
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.40m/s	球頂	3.01m/s	紋路旁	2.41m/s	球頂	2.81m/s
振動頻率	10000 Hz							
流動狀態								
風速變化	紋路旁	2.44m/s	球頂	2.82m/s				

從影片觀察，可以發現振動頻率越高，煙霧停留在球上的時間就越短，而頻率越低，煙霧彈開的距離較大，推測在高速震動下，煙霧會很快速地流過表面，而頻率越低，球體震動情形也會發生，導致將風(煙霧)推動的情形較明顯。

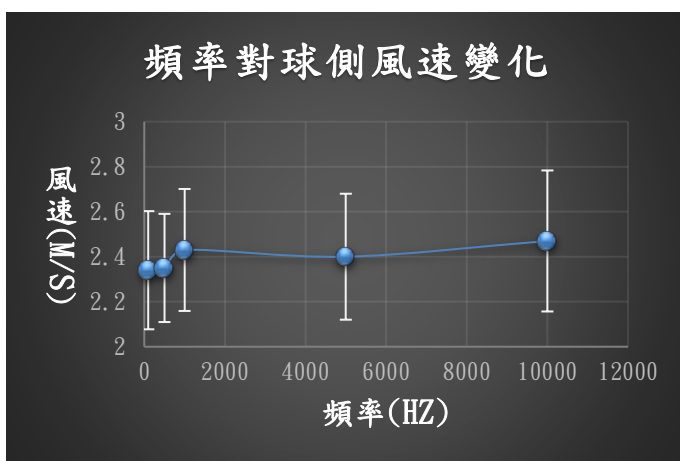


圖 27 頻率對球(無紋路)旁風速變化圖(n=10)

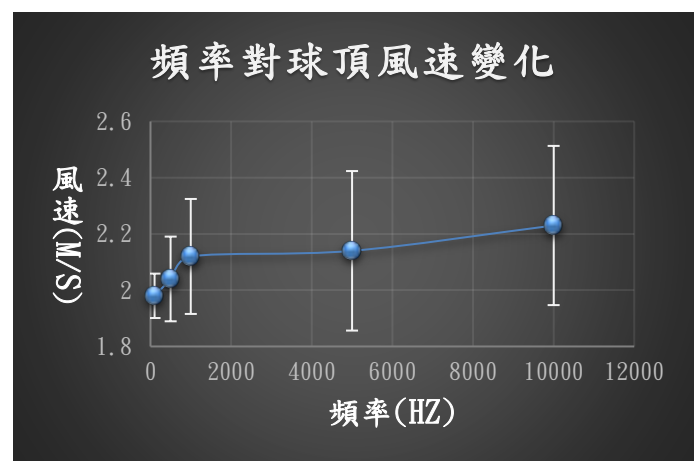


圖 28 頻率對球(無紋路)頂風速變化圖(n=10)

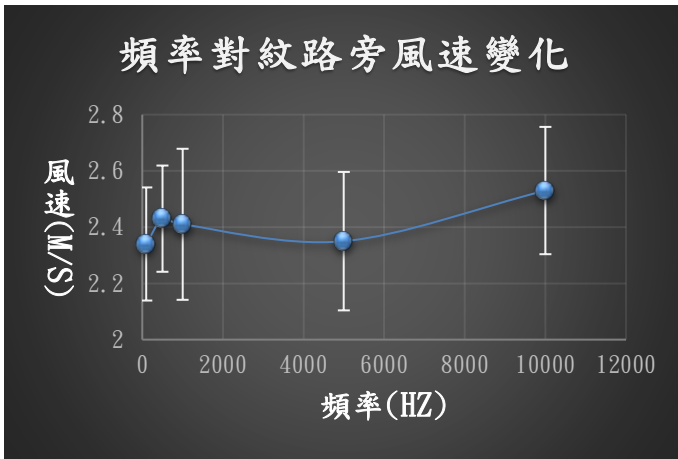


圖 29 頻率對紋路(凸空心)旁風速變化圖(n=10)

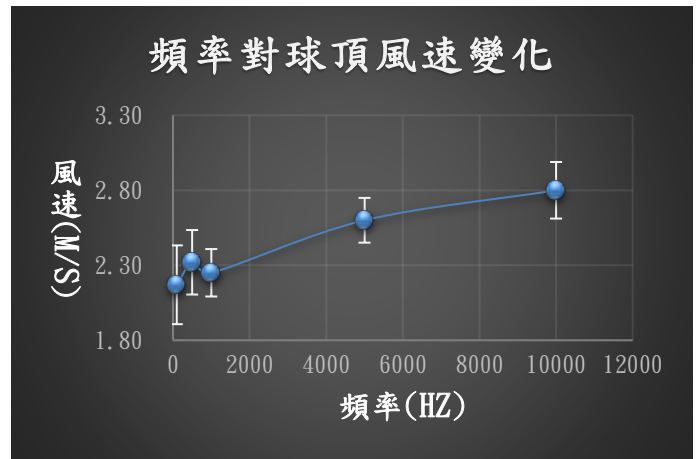


圖 30 頻率對球(凸空心)頂風速變化圖(n=10)

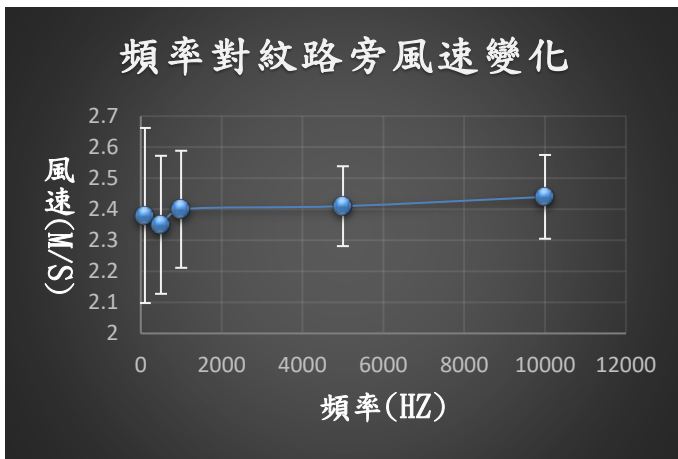


圖 31 頻率對紋路(凸實心)旁風速變化圖(n=10)

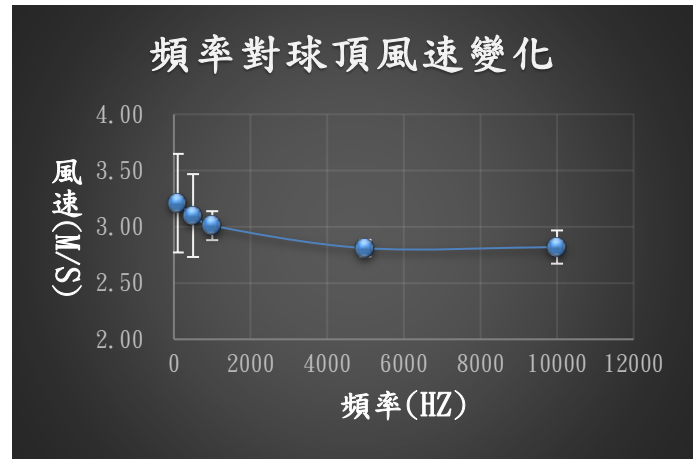
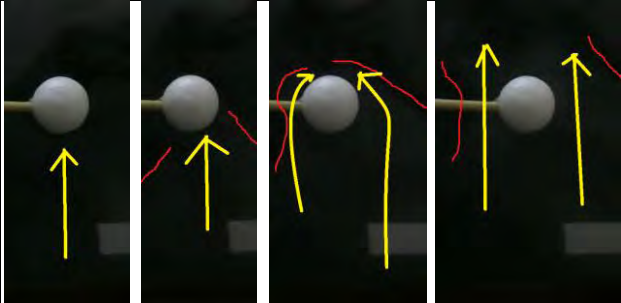
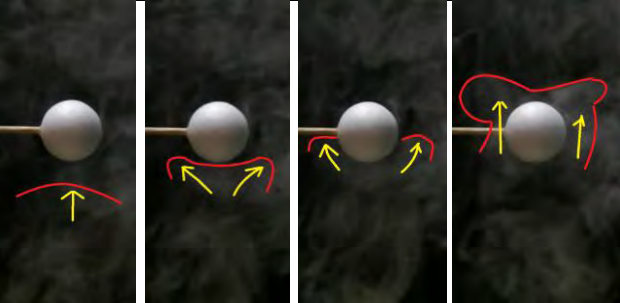
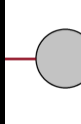

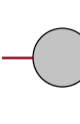

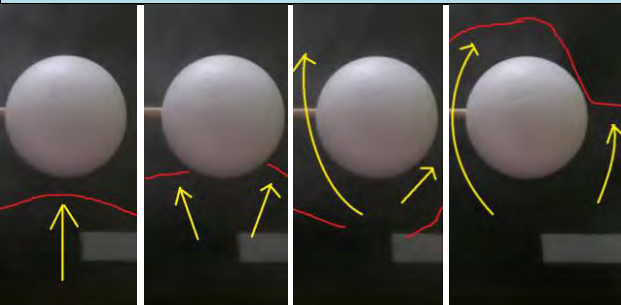
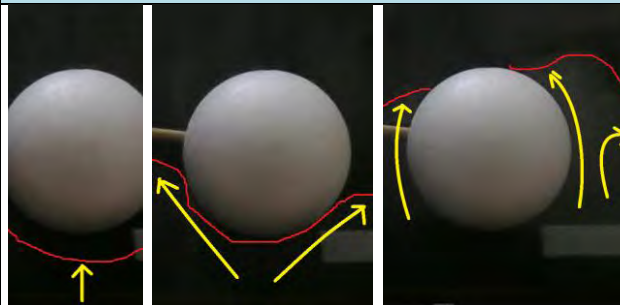
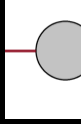

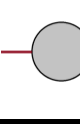
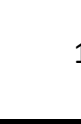


圖 32 頻率對球(凸實心)頂風速變化圖(n=10)

從圖 27~32 拉大來看，其實頻率變化對風速影響不是很大，而且對紋路的實心與空心幾乎是沒有差別的，尤其是在高頻率的環境下，風速接近相同，但從數據中可以發現風速較為不穩定，測量的時候會有忽大忽小的情形，但實心紋路的穩定性相較於其他兩種似乎較高，再由觀察圖可以發現煙霧經過球體時會直接彈開，進而降低空氣在表面上的黏滯。

實驗五：球體大小對風流動的影響

球體大小	23.96 mm				37.94 mm			
流動狀態								
風速變化	球側	 3.24m/s	球頂	 3.51m/s	球側	 2.89m/s	球頂	 2.93m/s
球體大小	53.07 mm				67.96 mm			
流動狀態								
風速變化	球側	 2.33m/s	球頂	 1.98m/s	球側	 2.12m/s	球頂	 1.63m/s

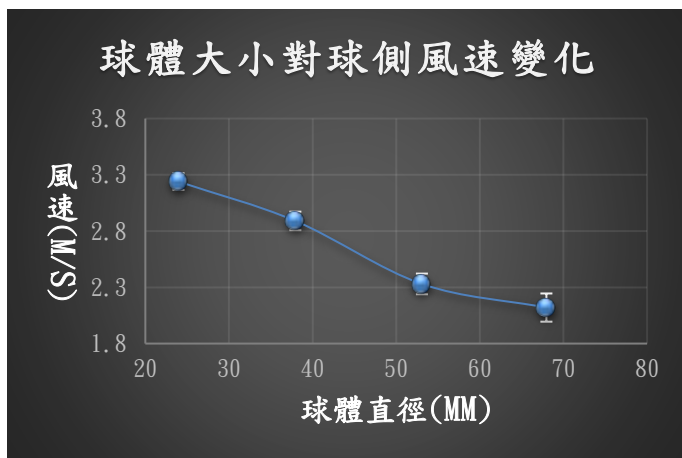


圖 33 球體大小對球側風速變化圖(n=10)

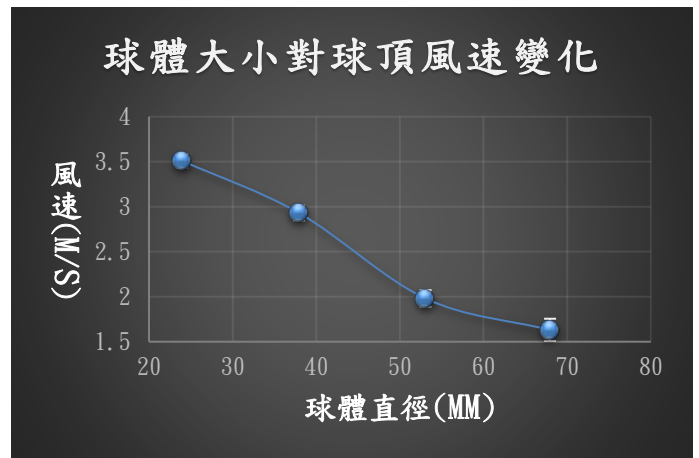
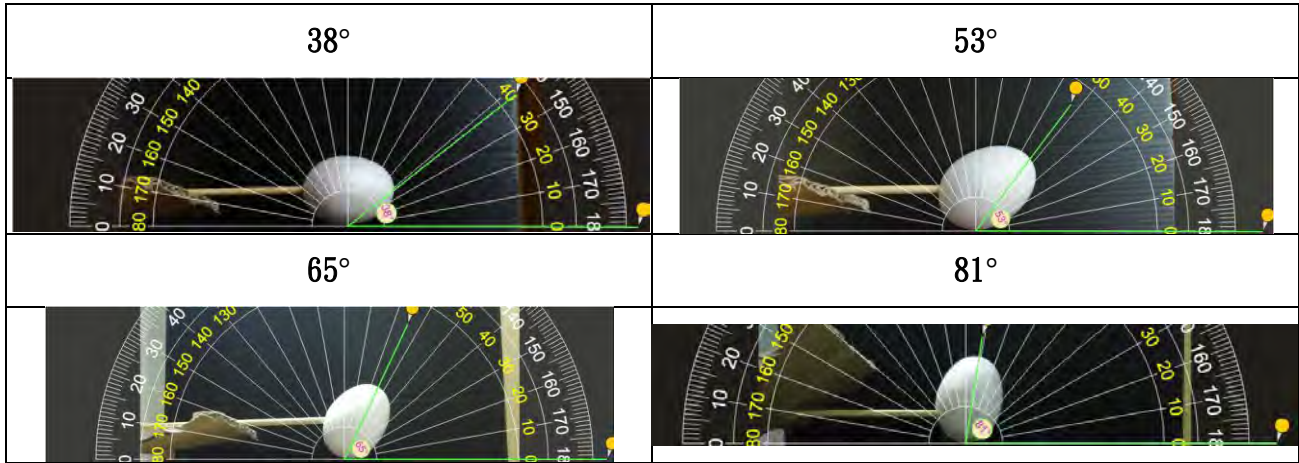


圖 34 球體大小對球頂風速變化圖(n=10)

發現直徑越大風速越慢，可能原因是氣流因康達效應沿著球體表面移動，球體越大，越容易因阻礙而往外形成亂流導致速度變慢。而球頂位置，推測氣流繞過球體時，因為球越大會讓風繞的角度越大，使風會提高位置匯聚，而實驗是固定在高球體 2cm 的位置檢測，因而檢測出來的流速反而會越慢。因角度有影響風的流動，所以後續實驗六會針對角度做探討。

實驗六：球體受風面角度對風流動的影響



角度	38°				53°			
流動狀態								
風速變化	球側	1.45m/s	球頂	1.63m/s	球側	1.72m/s	球頂	1.73m/s
角度	65°				81°			
流動狀態								
風速變化	球側	3.29m/s	球頂	1.44m/s	球側	4.20m/s	球頂	1.45m/s

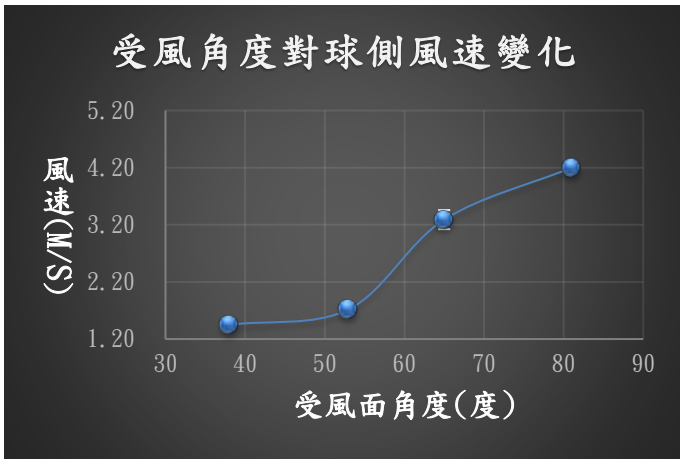


圖 33 受風角度對球側風速變化圖(n=10)

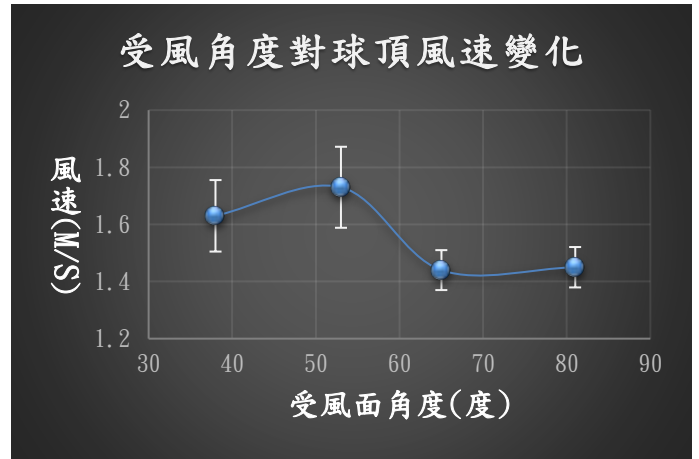


圖 34 受風角度對球頂風速變化圖(n=10)

觀察球體右側，角度(與水平線夾角)越大，其流速越快，角度越小，對氣流的引流會引到側向去，使得側速變小，而球頂流速在一開始引流到側向時，其他方向風量似乎會被吸引過來，所以風速較高，但漸漸角度越來越大的時候，風速也跟著越來越大，造成球頂匯流點往上提，使得偵測球頂的風速反而會變小，我有試著將風速計每兩公分往上偵測，有發現風速會越來越大，而且可以看到風速越大其匯聚點的確有變高的趨勢。



捌、結論

我們可以發現

一、綜合紋路凹凸紋來看，可以發現：

1、紋路寬度：

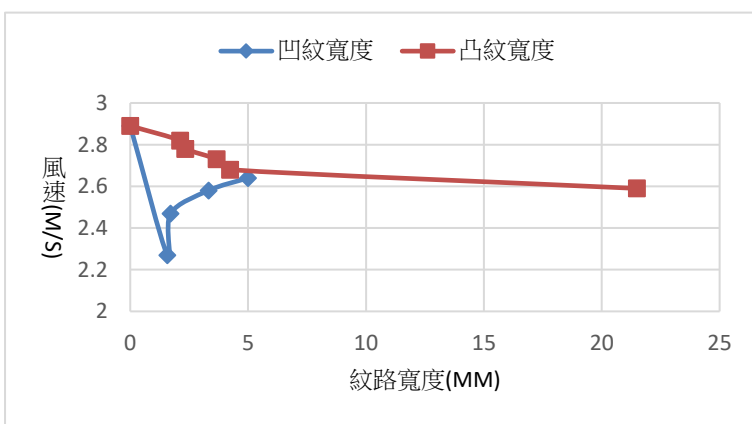


圖 36 紋路寬度對凹凸紋路旁風速比較圖(n=10)

從內凹空心紋路旁風速可以發現，一開始會降低風速，而當紋路寬度超過 1.6mm 時會讓風速緩慢提升，也就是超過特定寬度時，紋路對空氣的吸引會減弱。

而外凸空心紋路旁測量可以發現，寬度越高，其風速慢慢減緩，接近實心的風速。

2、紋路範圍大小：

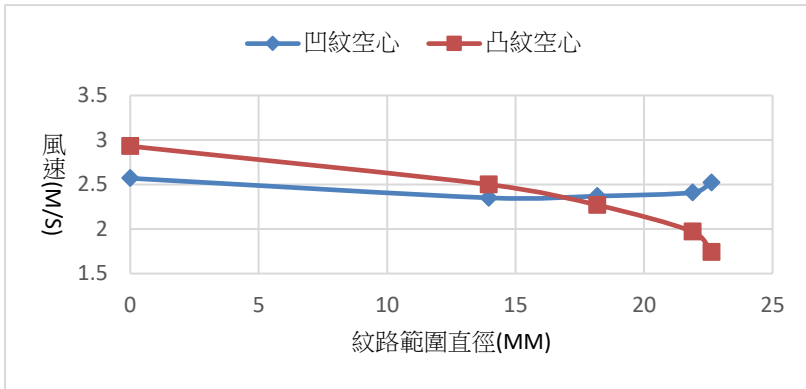


圖 37 範圍大小對凹凸紋路旁風速比較圖(n=10)

從紋路範圍來看，在一定的紋路大小下，凹紋空心範圍越大，空氣會越容易通過球體，而凸紋空心範圍越大，空氣停滯的情形反而會越明顯。

3、紋路深度：

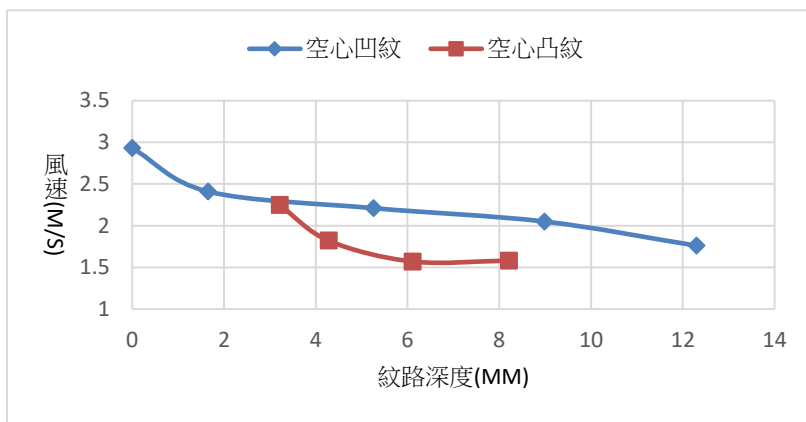


圖 38 紋路深度對凹凸紋路旁風速比較圖(n=10)

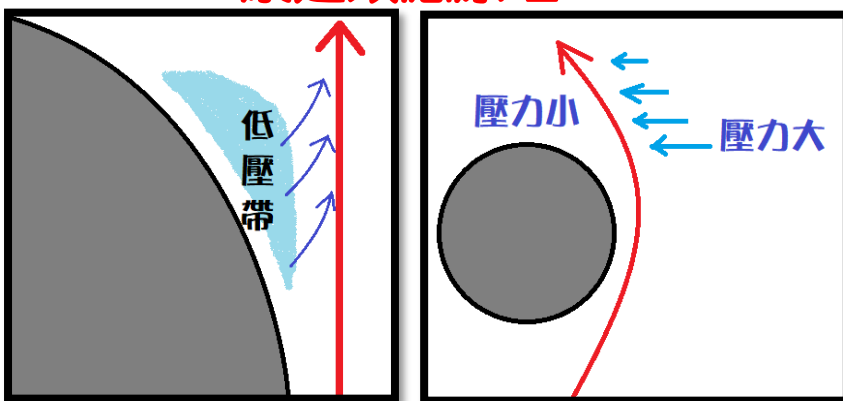
凸凹紋路圖型的情況類似，深度越深，流速越慢，但太深時速度沒甚麼太大的速度變化。

4、紋路形狀：

空心凸紋形狀紋路旁風速大小為正六邊形 > 正方形 > 星形 > 正三角形 > 圓形 > 正五邊形，實心凸紋為正方形 > 正三角形 > 正六邊形 > 圓形 > 星形 > 正五邊形。

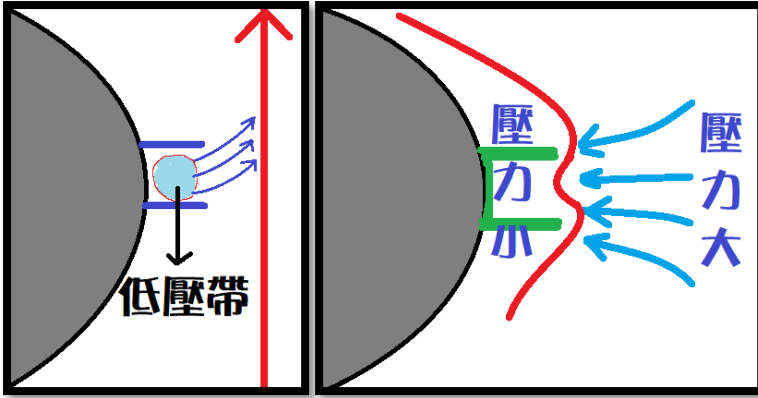
由康達效應的因素對紋路結果做可能的推測如下：

康達效應原理



從康達效應原理可以了解風在球體改變方向的原因，因為風高速通過球體時，會帶走部分的空氣而形成低壓，外界風因為壓力差而產生流動，進而改變風向。

康達效應對風在球體紋路上變慢的推測



從康達效應推測風速在紋路上變慢原因，可能是因為當風快速通過紋路，造成洞內部的氣體被帶走而形成低壓帶，紋路呈現半封閉狀越明顯，會導致低壓更明顯，使外界壓力大到將風推向低壓的位置，使後續的風產生阻力造成風速變慢的結果。但就觀察來看，康達效應應該會讓氣流沿著球體轉彎，但卻發現在紋路較厚時反而會往外側轉彎，推測是因為厚度太厚阻礙造成的亂流影響。所以對於厚度較薄的紋路，氣流就會比較接近康達效應所推測的方向轉彎。

二、針對球體來看，可以發現

- 1、球體越大，通過側邊的流速越慢。
- 2、可以發現受風角度越大，其側面流速越快，導致球頂流速變慢。

三、由環境因素判斷

1、空氣振動頻率：

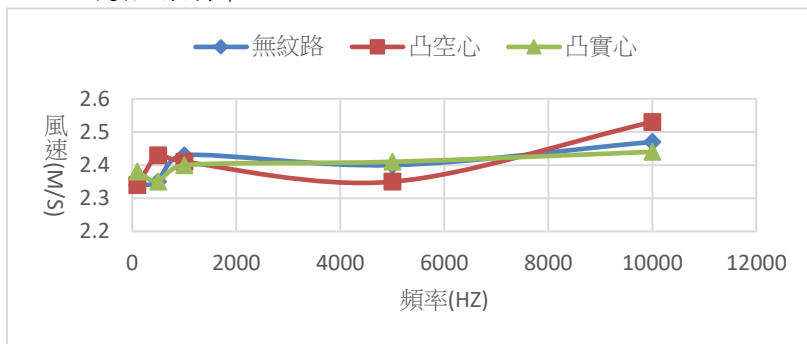


圖 39 不同頻率在紋路旁(球側)風速比較圖

可以發現振動頻率越高，有無紋路的情形差異不大，但頻率較低時，風速個別差異性比較大。

2、空氣溫度：

原因是溫度提高後提供空氣熱量，空氣因熱漲冷縮造成密度變小，使流速變快更順暢。

玖、參考資料

1、小峯龍男. (2015). 流體力學. 新北市: 瑞昇文化.

2、白努利定律. (2018年7月17日). 擷取自 維基百科:

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

3、張慧貞. (2016年5月5日). 白努利定理的誤解與錯誤應用. 擷取自 物理雙月刊:

https://pb.ps-taiwan.org/catalog/ins.php?index_ml_id=3&index_id=192

【評語】 080116

1. 探討球體上幾何圖形種類、深度、大小與條紋寬度對風流動的影響，探討氣體狀態、溫度、頻率，對球體上風流動的影響。
2. 能自行設計實驗，探討具表面結構球體對氣流的影響。
3. 利用煙霧製造器觀察空氣流動，觀察仔細，數據呈現容易理解。
4. 實驗精心設計製作，內容豐富，構想具創新性。

壹 · 摘要

發現內凹空心紋路一開始會降低風速，寬度超過一定比例會讓風速緩慢提升，而外凸空心紋路發現寬度越高流速越慢；空心凹紋範圍越大流速越快，空心凸紋範圍越大則流速越慢；而紋路深度越深流速越慢，其中凸紋越薄時康達效應越明顯，越厚反而是亂流越明顯；形狀的部分針對凸紋，發現空心形狀紋路球側流速大小為正六邊形 > 正方形 > 星形 > 圓形 > 正三角形 > 正五邊形，實心流速則為正方形 > 正三角形 > 正六邊形 > 圓形 > 星形 > 正五邊形。

而球體受風角度越大，其側面流速越快，導致球頂流速變慢；球體越大亂流越明顯且球側流速會越慢；環境空氣溫度越高，因空氣密度變小，讓側面流速變快；空氣振動頻率對有無紋路影響不大，但頻率越高，其流速變化越穩定。

貳 · 研究動機

一天，弟弟和我一起在家裡玩著氣球，弟弟不小心將吹超大的氣球拍向正在運轉的空氣清淨器上方，沒想到竟然發現氣球竟然會就此停留在清淨機上方處並一直在上下左右震盪且旋轉，這讓我想到之前在高雄科工館科學園遊會中，曾經有展示過白努力定律的科學遊戲，利用掃葉機將綁成一圈的氣球緩緩吹動，而形成一個很大的滾動甜甜圈，令我訝異不已。

空氣清淨機的風具有讓氣球停在原地以及讓球轉動的力量，思考原因後，這讓我想到棒球選手投球之後，球有時也會有很奇妙的運動軌跡，棒球上的紋路是否對球的旋轉有影響，就像氣球尾端的不規則形狀造成旋轉，因此我開始針對各種幾何圖形，凹凸實心來觀察對氣流的流向與流速的影響。



圖1 氣球受清淨機風力合力示意圖

參 · 研究目的

- 一、探討球體上幾何圖形種類、深度、大小與條紋寬度對風流動的影響
 - (一) 球體上凸紋
 - (二) 球體上凹紋
 - (三) 不同幾何圖形形狀
- 二、探討氣體狀態(溫度、頻率)對球體上風流動的影響
- 三、探討球體大小對風流動的影響
- 四、探討球體受風角度對球體上風流動的影響

研究器材與材料



程式：Audacity
線上量角器：Protractor
(https://www.ginifab.com.tw/tools/measuring_angles/)

保麗龍球上的幾何圖形影響風的流動

球體凹 or 凸幾何圖形

實驗一：紋路寬度、大小與深淺

實驗二：幾何圖形形狀

氣體狀態對球體上風的流動

實驗三：氣體溫度

實驗四：氣體振動頻率

球體狀態對球體上風的流動

實驗五：球體大小

實驗六：球體受風面角度

利用起煙器製造煙霧，再藉由手機慢速攝影

氣體流速與流動方式

肆 · 研究結果與討論

實驗一：紋路寬度、大小與深淺對風流動的影響

實驗 1-1 球體上內凹的圓形紋路

不同圓形紋路：

紋路寬度	無紋路	紋路寬度 1.57 mm	紋路寬度 1.71 mm	紋路寬度 3.32 mm	紋路寬度 4.99 mm
流動狀態					
風速變化	球側 2.89m/s, 球頂 2.93m/s	紋路旁 2.27m/s, 球頂 2.69m/s	紋路旁 2.47m/s, 球頂 2.63m/s	紋路旁 2.58m/s, 球頂 2.78m/s	紋路旁 2.64m/s, 球頂 2.84m/s

圖2 研究架構圖

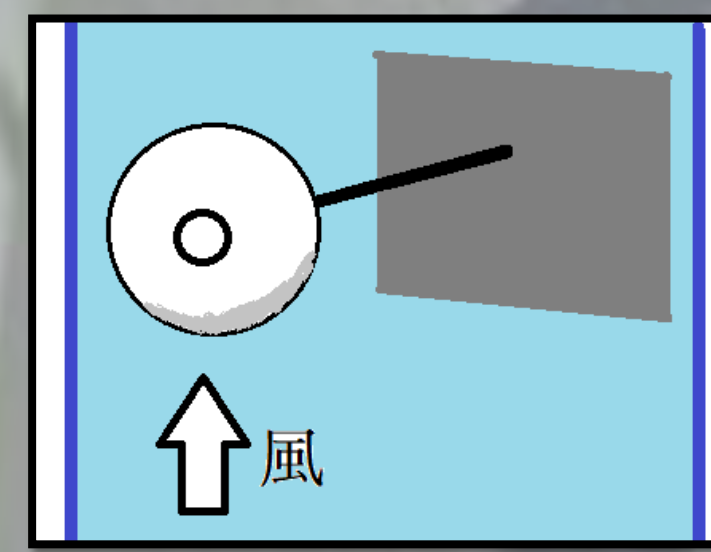


圖3 保麗龍球固定位置

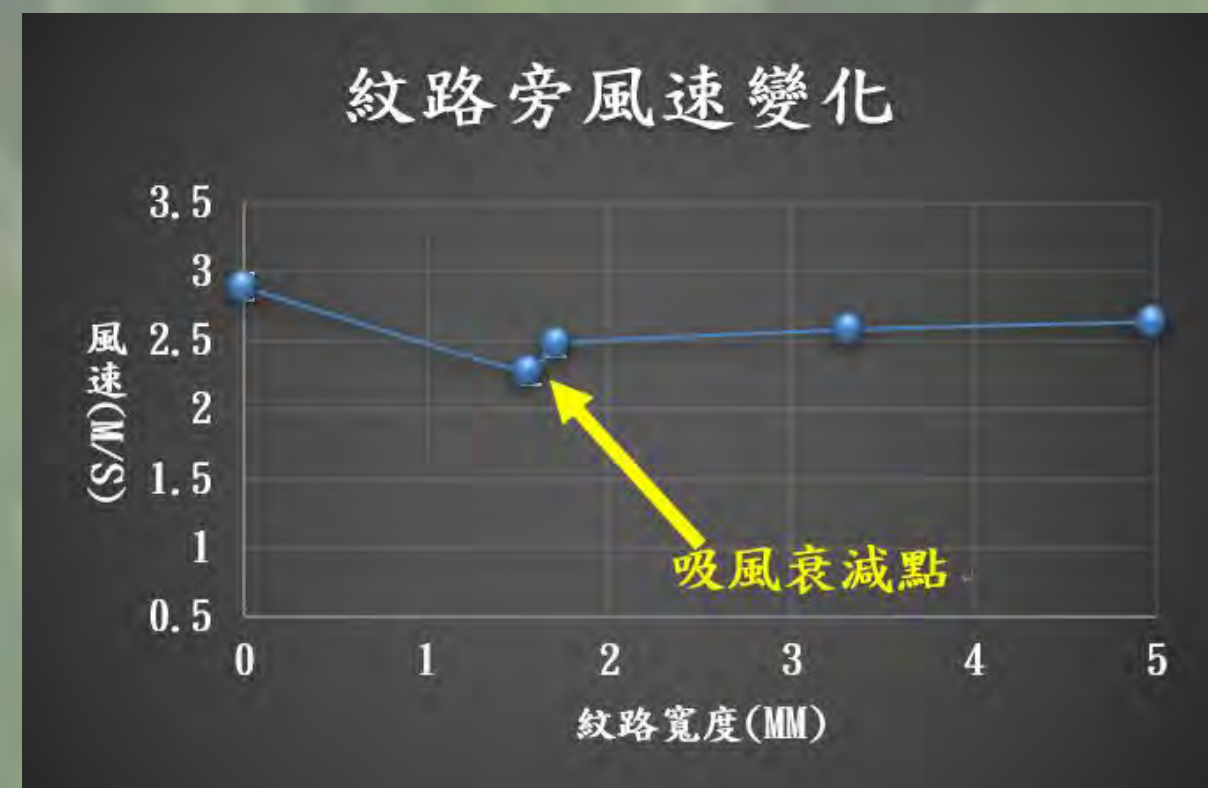


圖4 凹紋寬度對紋路旁風速變化圖 (n=10)

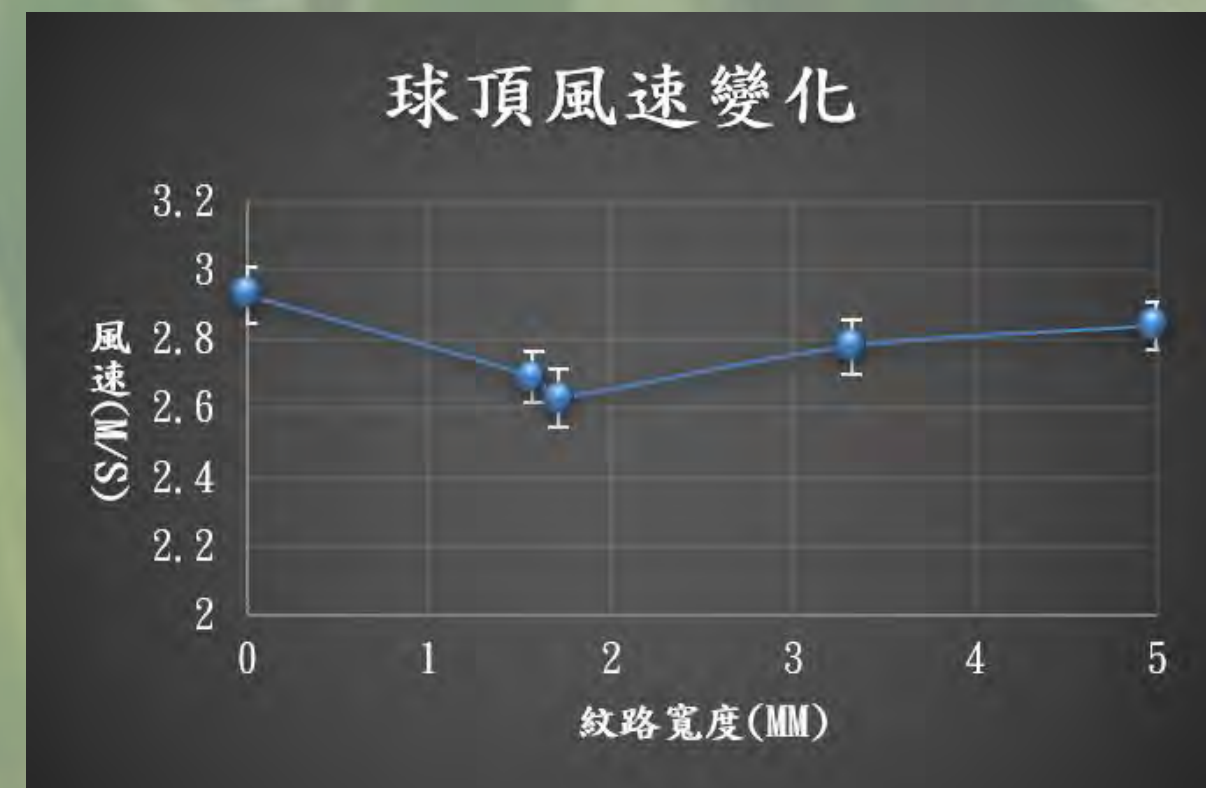


圖5 凹紋寬度對球頂風速變化圖 (n=10)

從圖4與圖5可以發現球體上方的風速會隨著紋路側邊的風速變化而變化，且球頂的風速會比紋路側邊的風速變化稍微延遲，另外發現在內凹圖形大小一定時，紋路的粗細影響風速有限，顯示只要有紋路，就會吸引風量，而且紋路大到一定的比例時，吸引風量的能力有在衰減當中，而紋路寬度影響不是很明顯，所以接下來針對紋路範圍來驗證風流動的影響。

不同圓形紋路範圍大小：

紋路範圍	無紋路	紋路範圍大小 13.95 mm	紋路範圍大小 18.17 mm	紋路範圍大小 21.89 mm	紋路範圍大小 22.62 mm
流動狀態					
風速變化	球側 2.89m/s, 球頂 2.93m/s	紋路旁 2.35m/s, 球頂 2.40m/s	紋路旁 2.19m/s, 球頂 2.37m/s	紋路旁 2.14m/s, 球頂 2.41m/s	紋路旁 2.07m/s, 球頂 2.52m/s

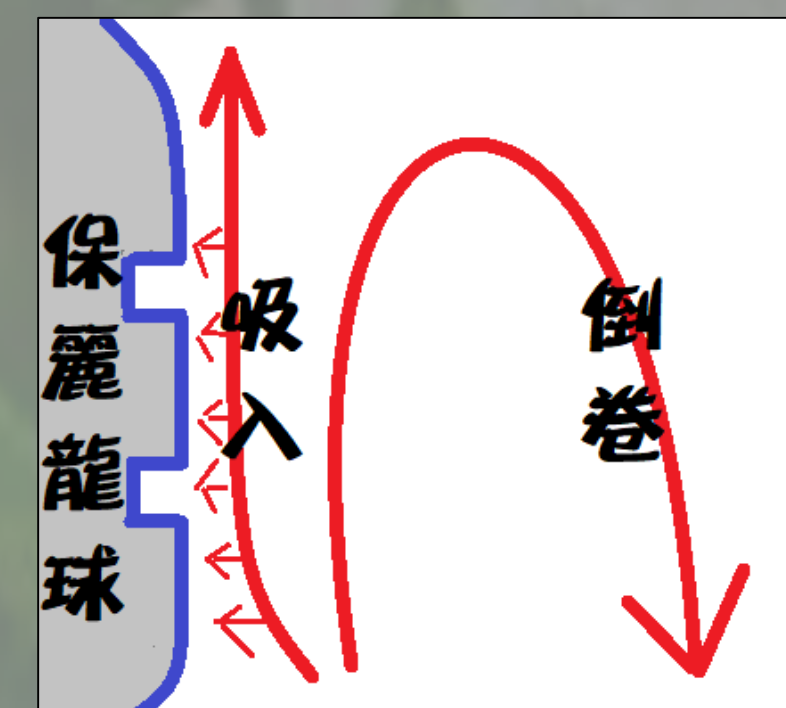


圖6 氣流通過條紋狀態示意圖

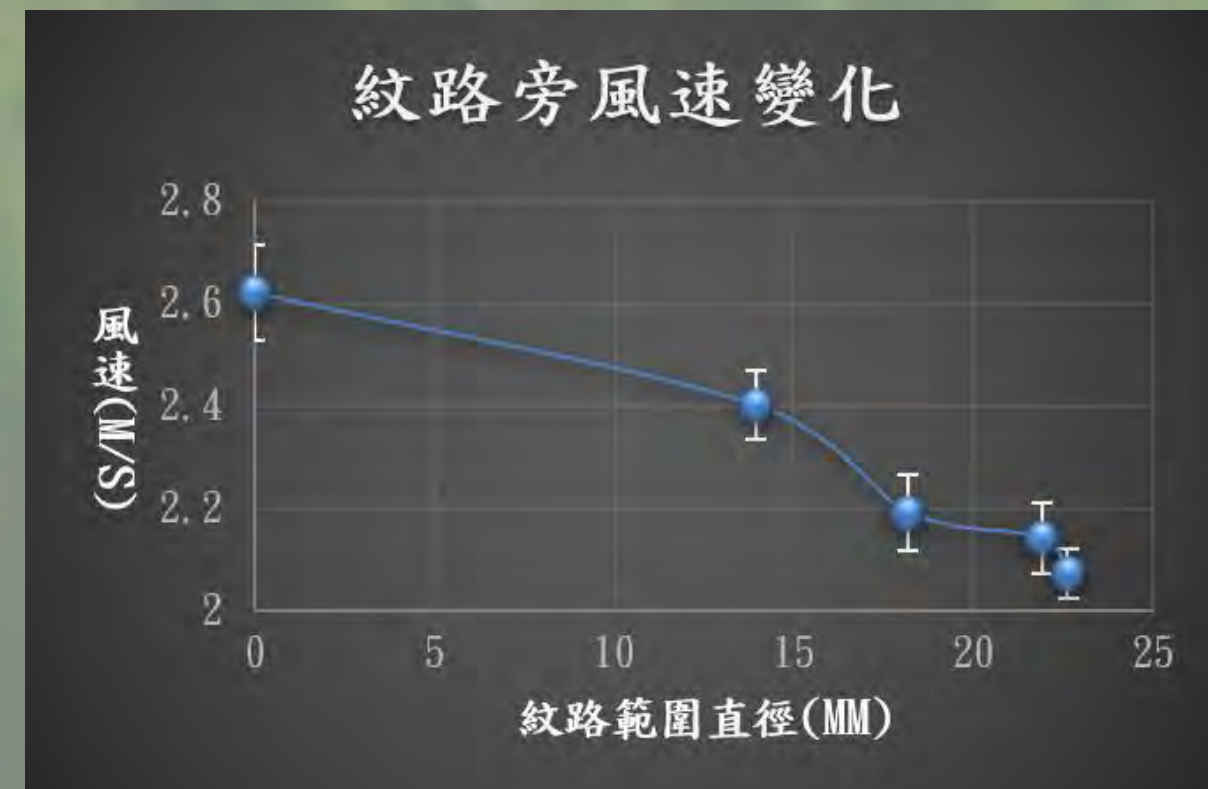


圖7 凹紋範圍對紋路旁風速變化圖 (n=10)

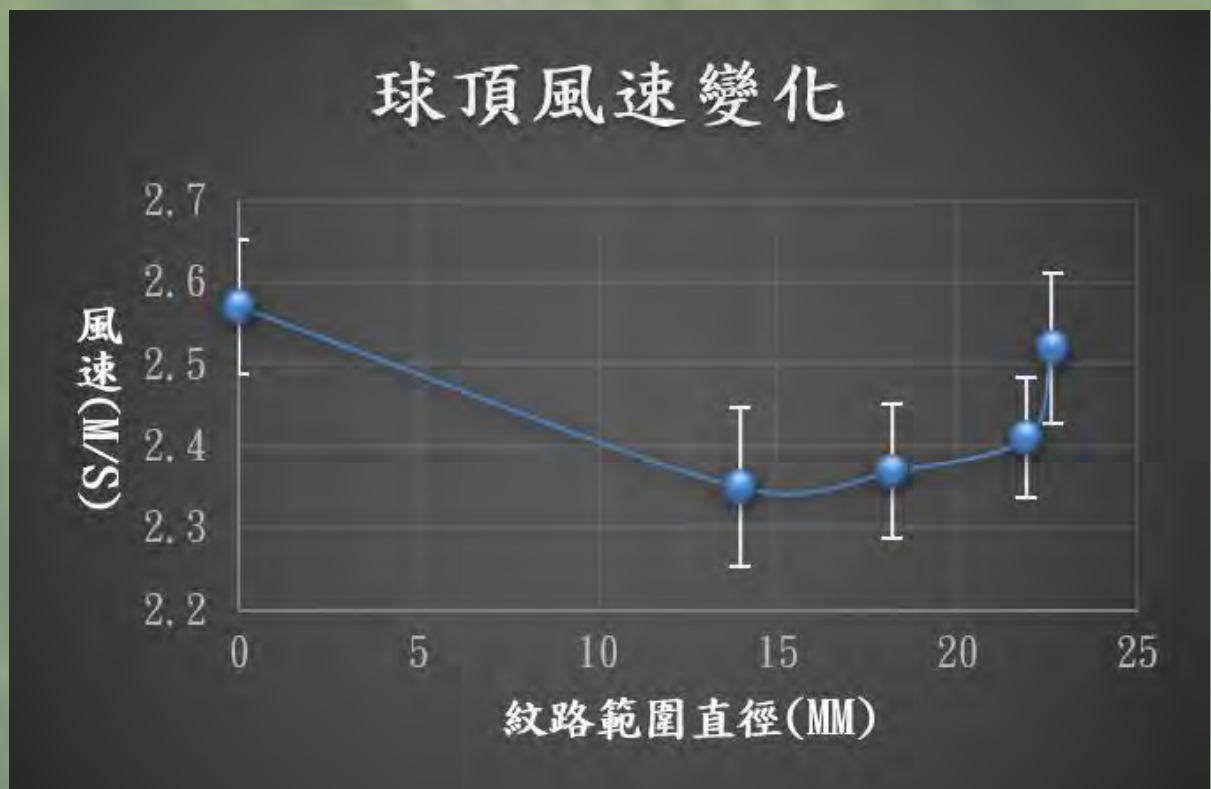
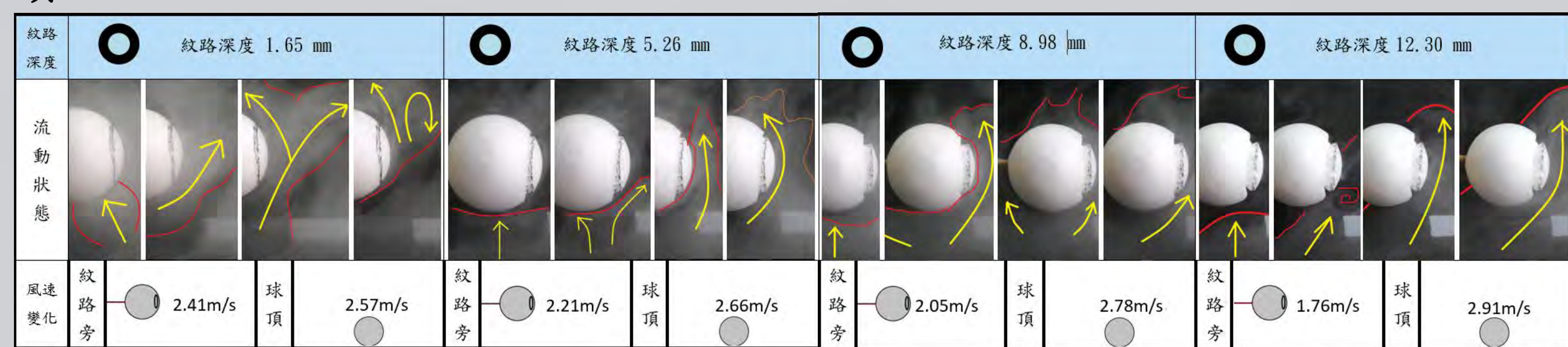


圖8 凹紋範圍對球頂風速變化圖 (n=10)

由圖7、8可以發現，紋路範圍越大，其紋路上的風速越慢，導致球頂流速變大越明顯，所以可以推測，雖然範圍越大，煙霧範圍越大，可能是因為速度越慢，而造成煙霧往側面擴散的原因或是像所看的影片中煙霧形成迴流的狀態導致。另外綜合前兩個實驗可以得知，當紋路的風速越慢時，同時也會導致球體上方風速變快，推測是當紋路的風壓越大，風速越慢，而讓球體周遭的風因風阻之故而往球體其他方向繞，而造成最後集中在球體上方使風速變快。

實驗1-1 不同圓形紋路深度：



從圖9、10可以發現，紋路深度越深時，風速影響會越大，表示風會深紋所吸引，導致風速變慢，綜合前面實驗也可以得知，紋路的深度影響風速比紋路範圍更加劇烈。同時也很明顯的看出，球頂風速越快，其紋路上的風速越慢。

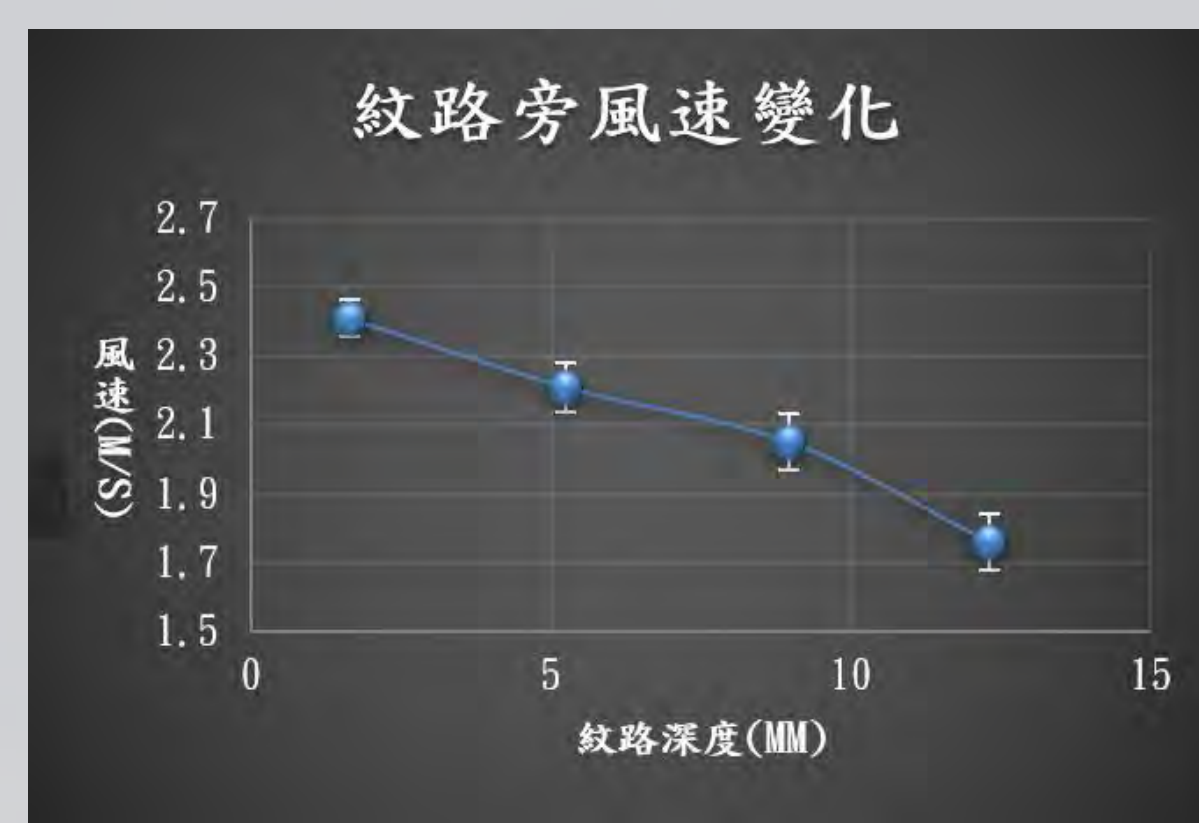


圖9 凹紋深度對紋路旁風速變化圖 (n=10)

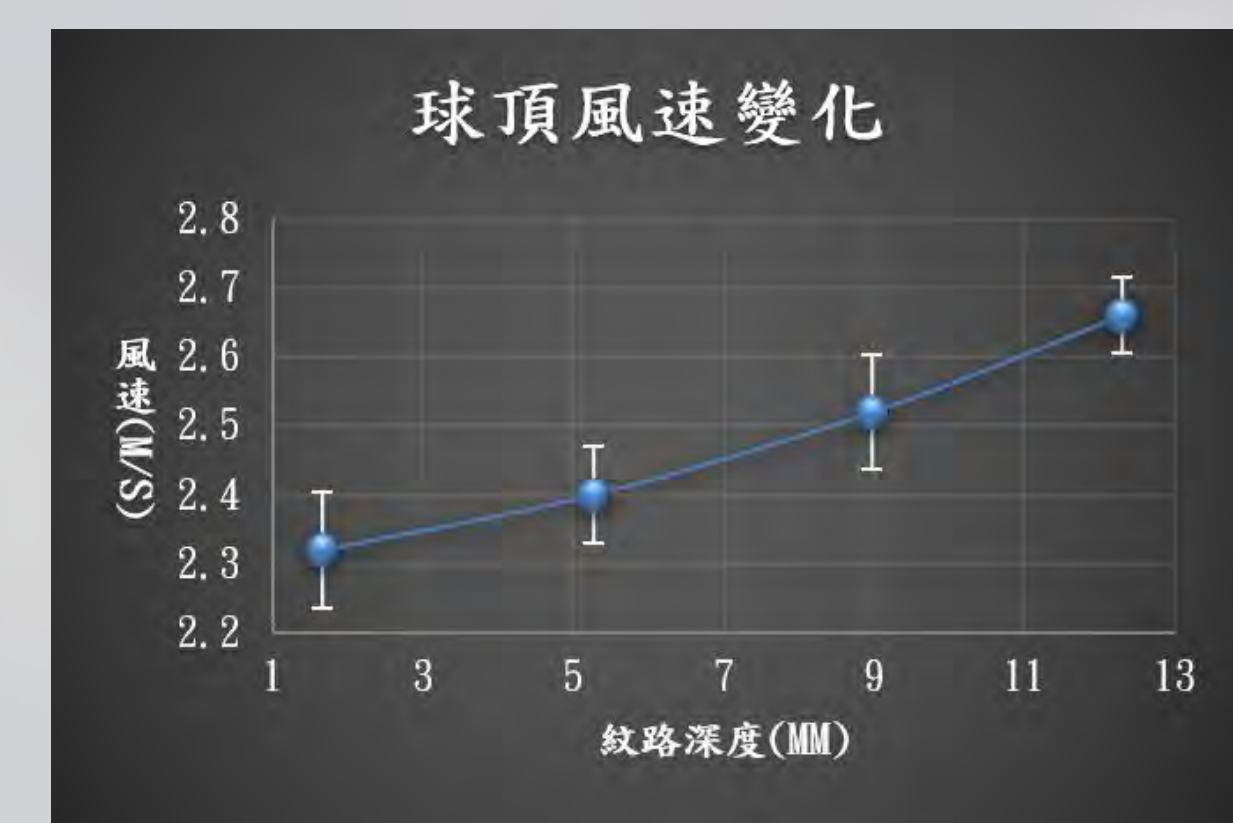
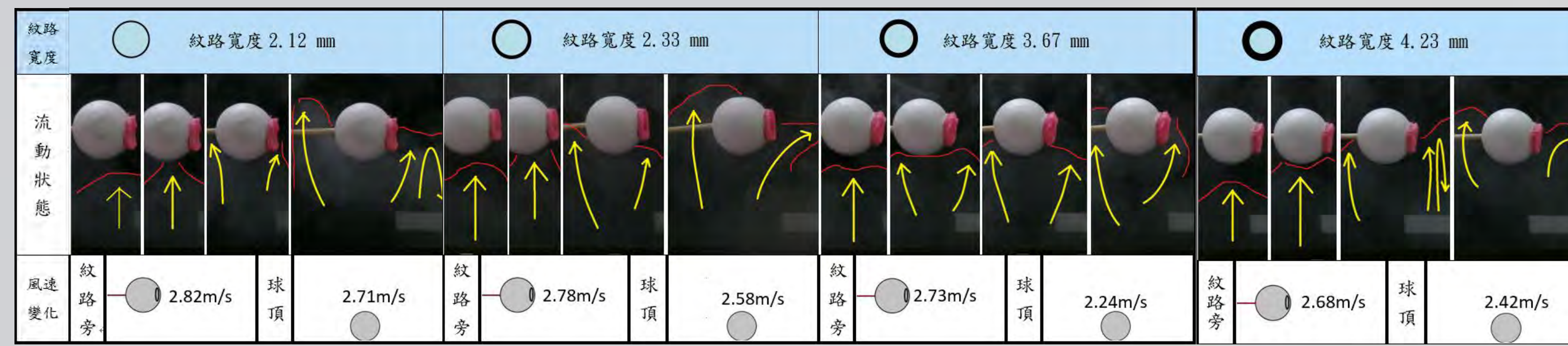


圖10 凹紋深度對球頂風速變化圖 (n=10)

實驗1-2 球體上外凸的圓形紋路 不同圓形紋路寬度：



從圖11與12可以發現，外凸與內凹類似，都是要一定的寬度(3~5 mm)影響會減弱，差別在於凹紋越寬越接近無凹紋的情形，其紋路旁風速會慢慢提升，而凸紋越粗，則紋路旁風速則越來越慢。可以從實際圖形來看，可觀察到煙霧密度越來越高且開始往右側移動。

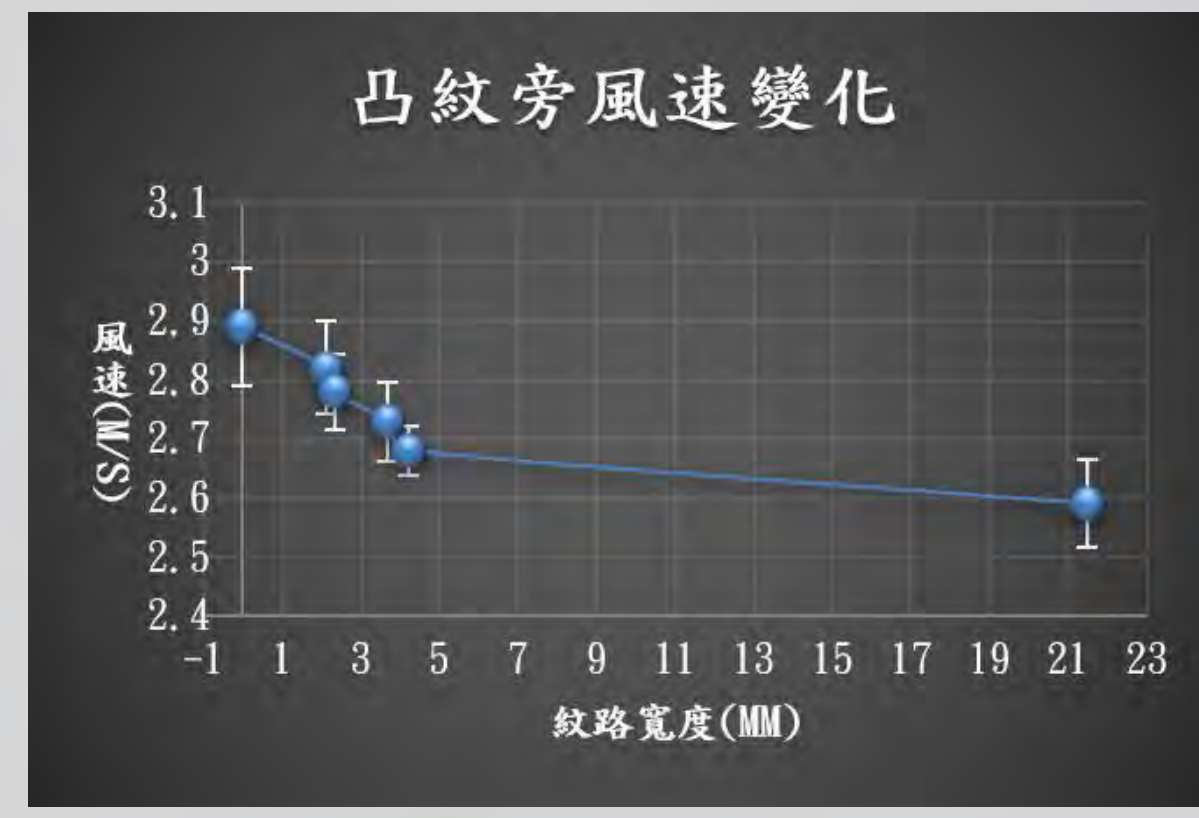


圖11 凸紋寬度對紋路旁風速變化圖 (n=10)

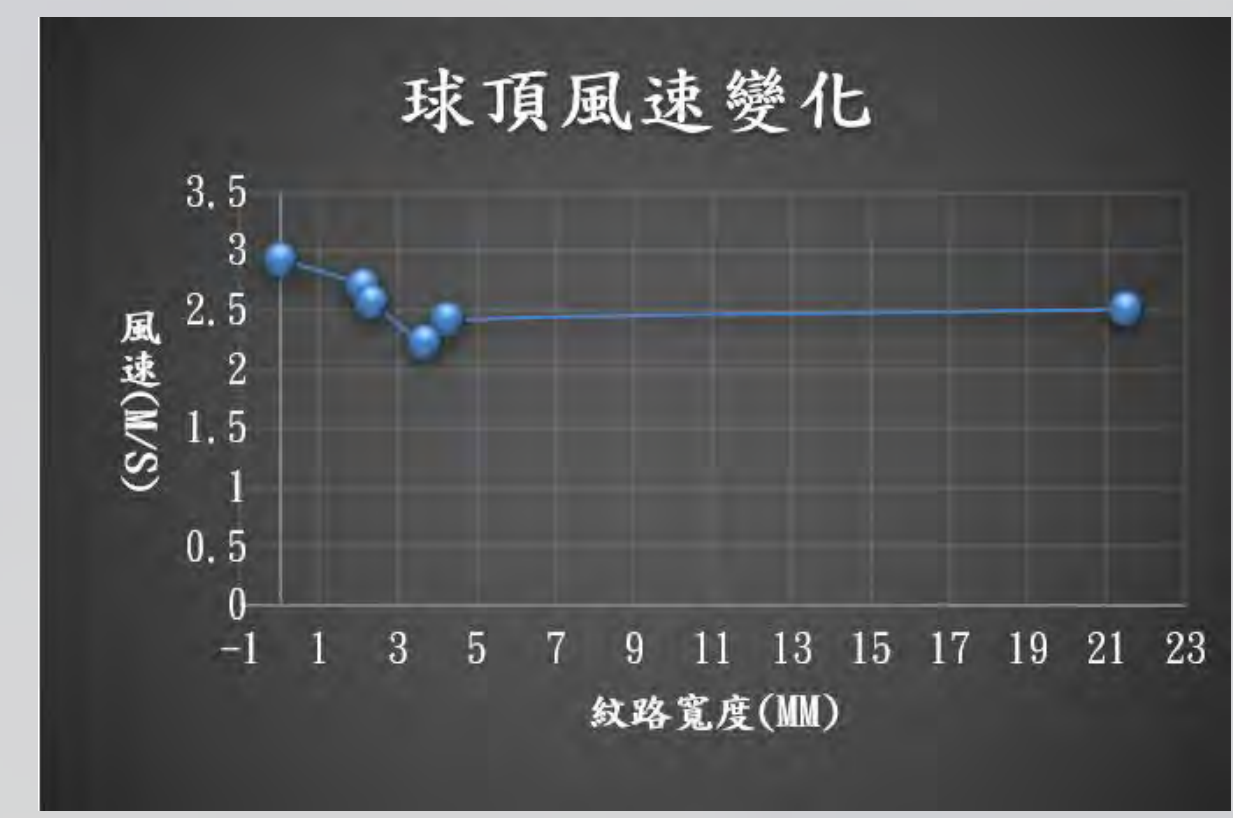


圖12 凸紋寬度對球頂風速變化圖 (n=10)

不同圓形紋路範圍大小：

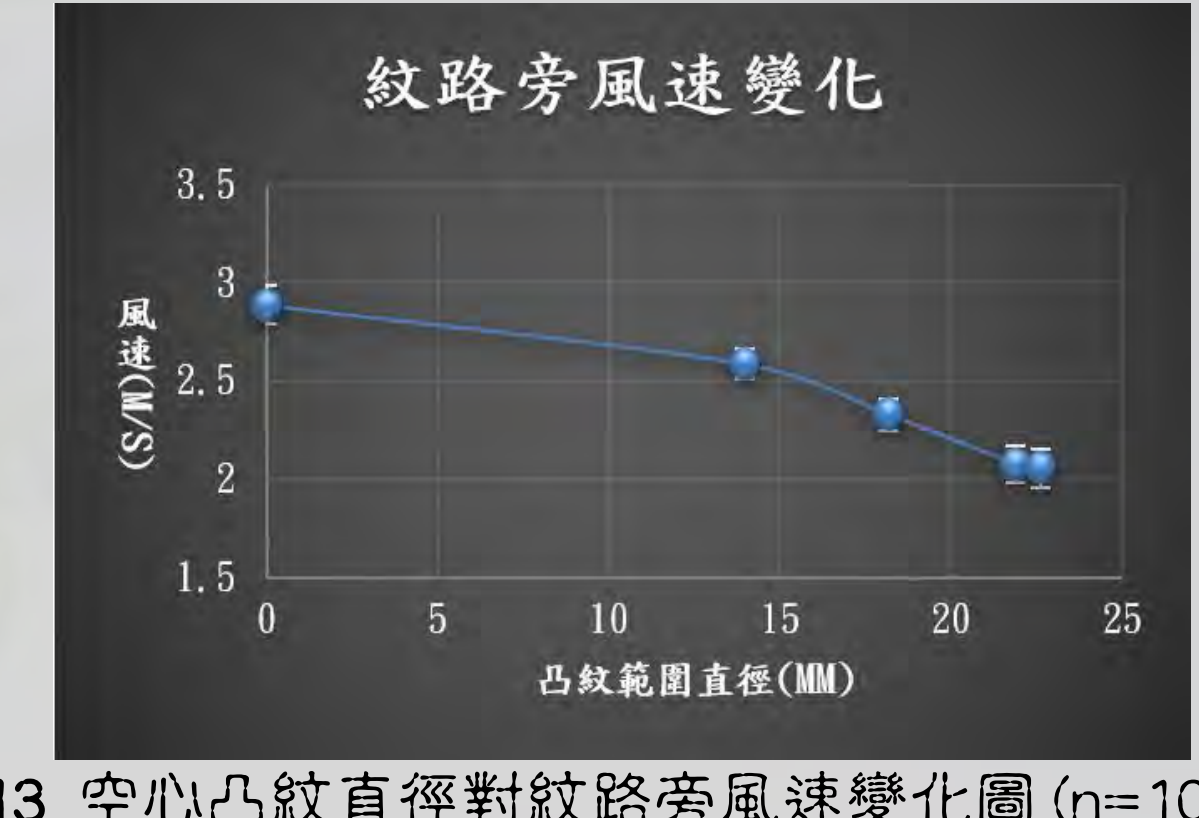
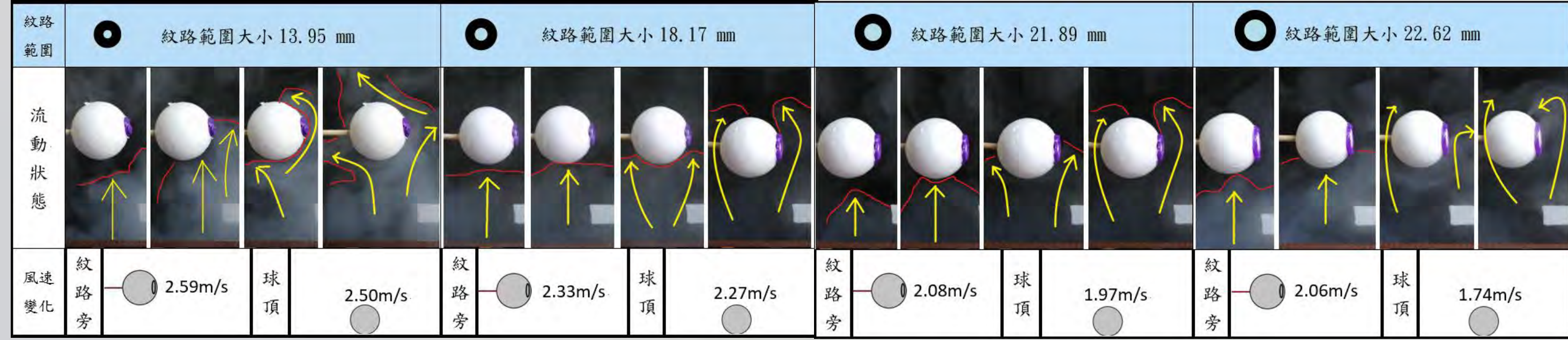


圖13 空心凸紋直徑對紋路旁風速變化圖 (n=10)

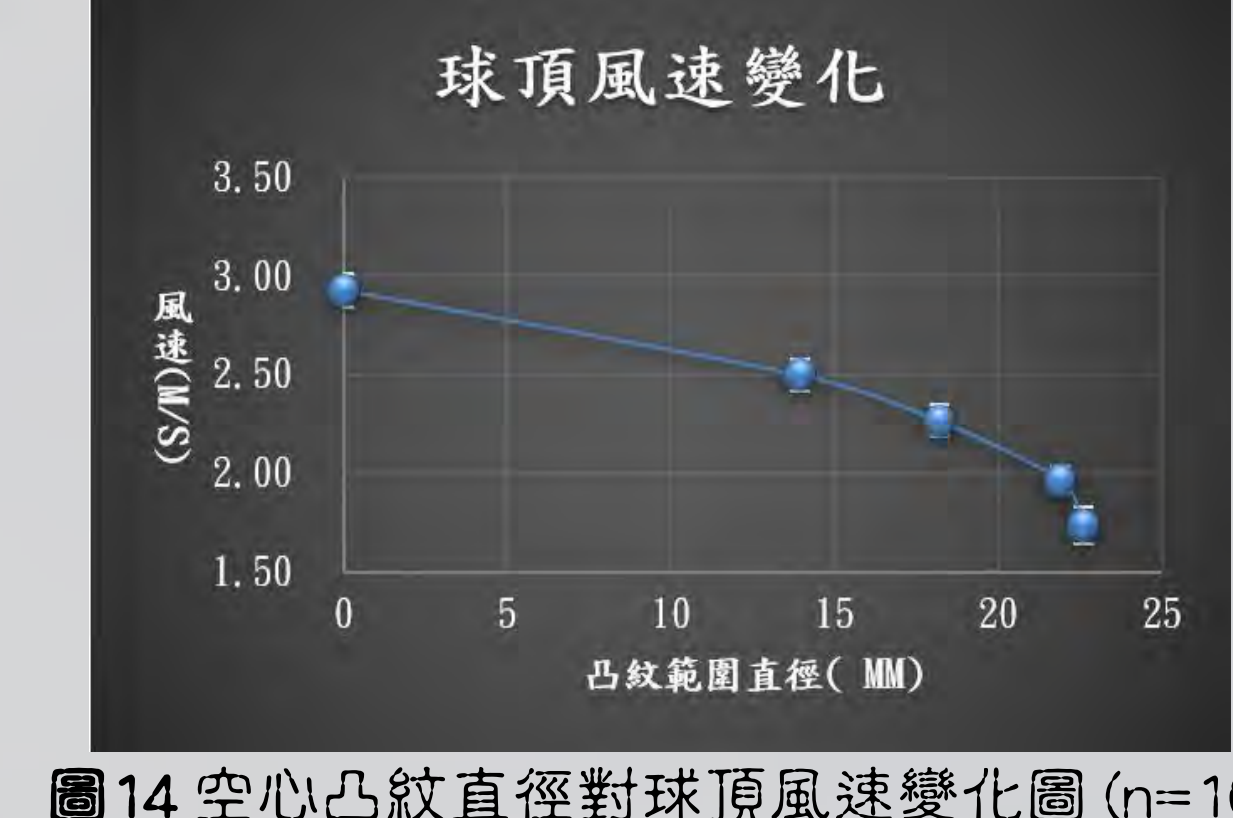


圖14 空心凸紋直徑對球頂風速變化圖 (n=10)

由圖13、14發現凸紋範圍越大，風速越減緩，球頂的風速會較凸紋上方延緩風速減緩趨勢。同時在影片中可以發現紋路範圍越大，紋路吸引氣流的進洞的引力越大，可以看到周遭的煙霧較為濃厚，康達效應使得風速下降。

不同圓形紋路深度：

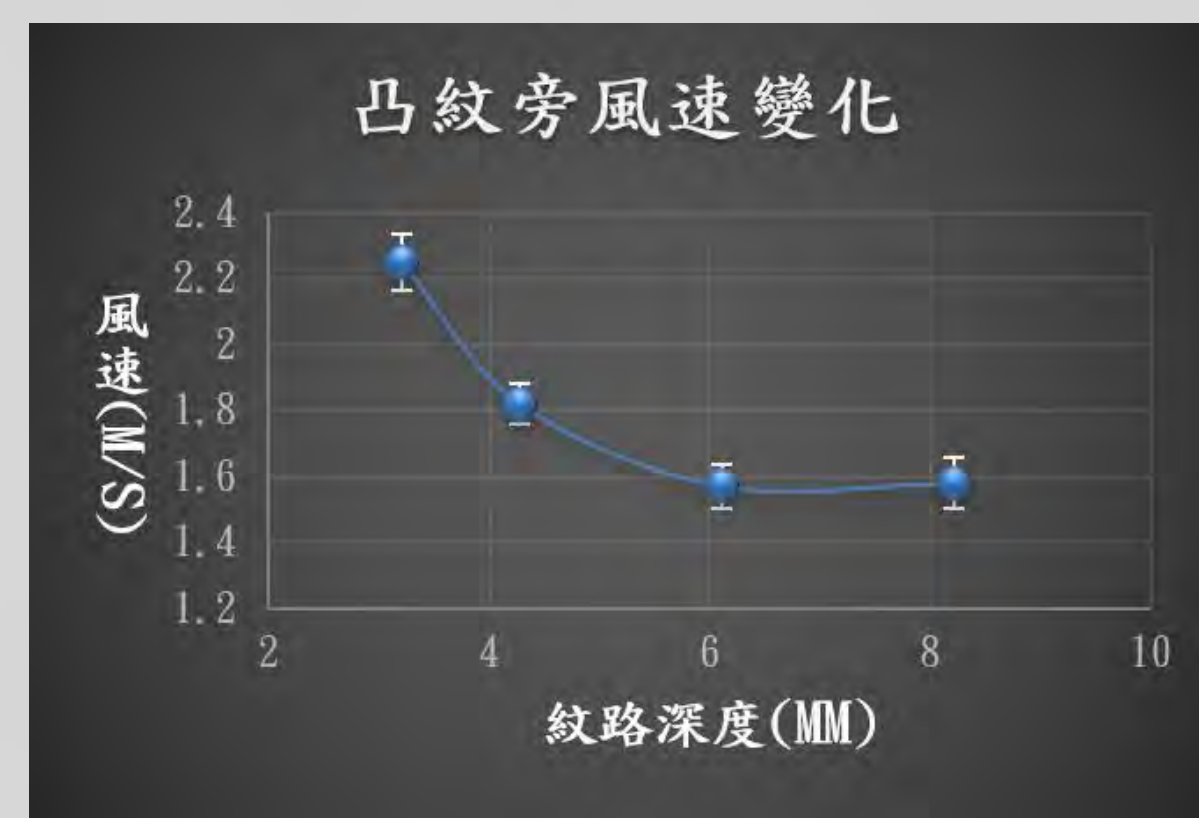
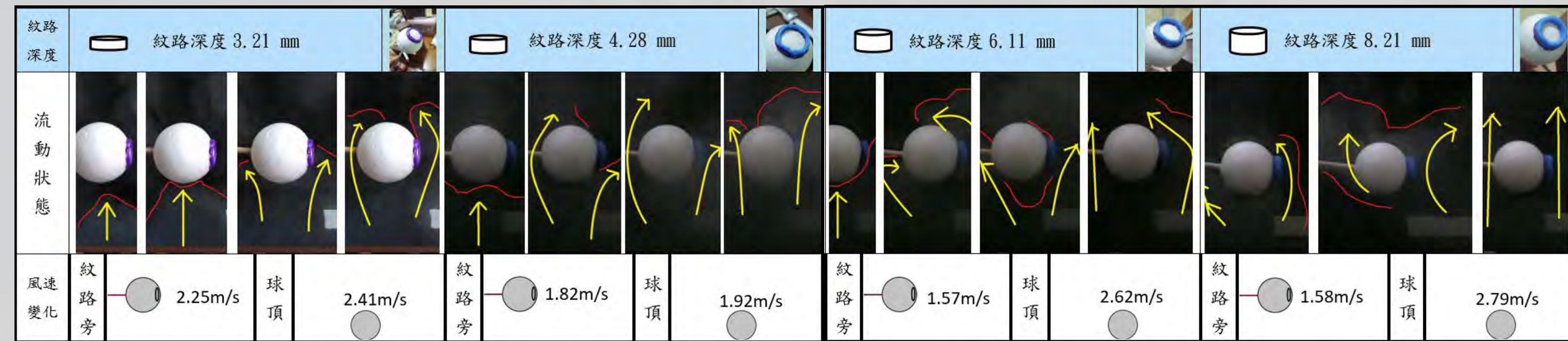


圖15 空心凸紋深度對紋路旁風速變化圖 (n=10)

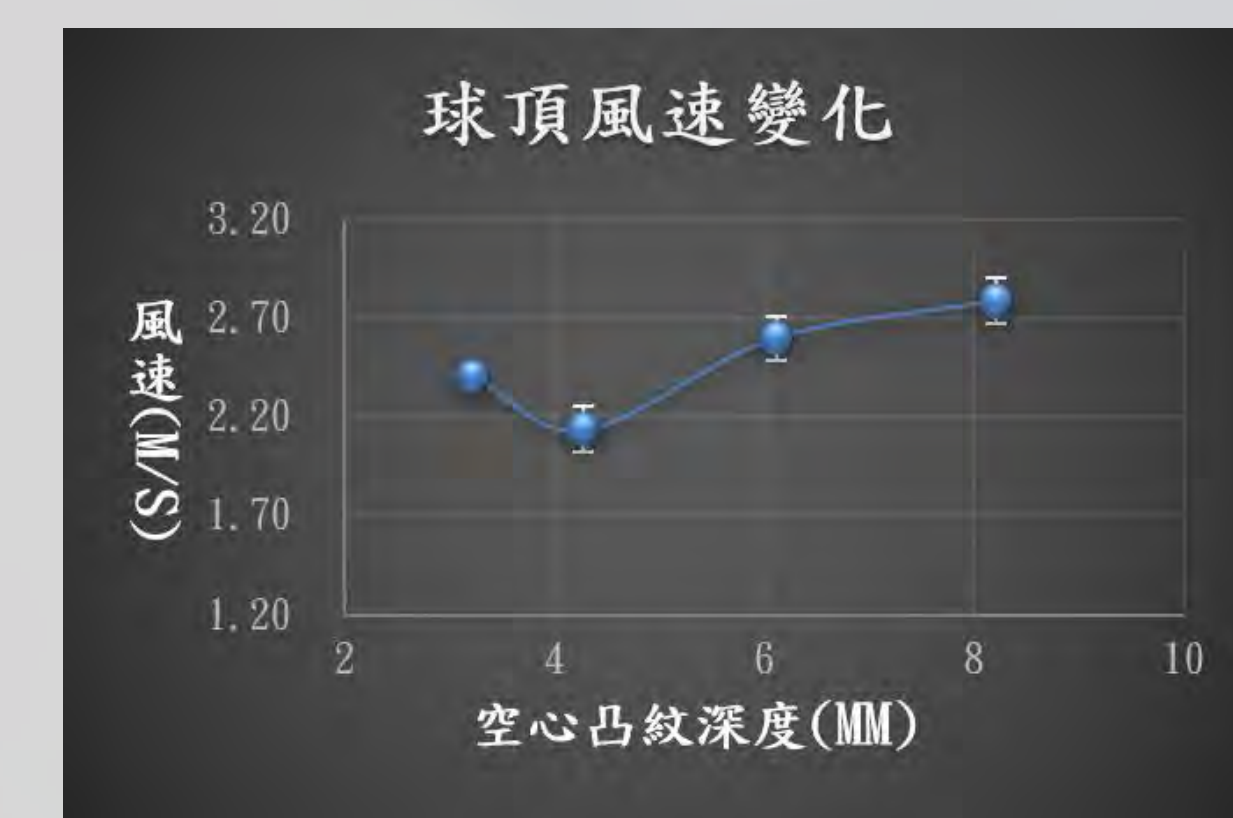
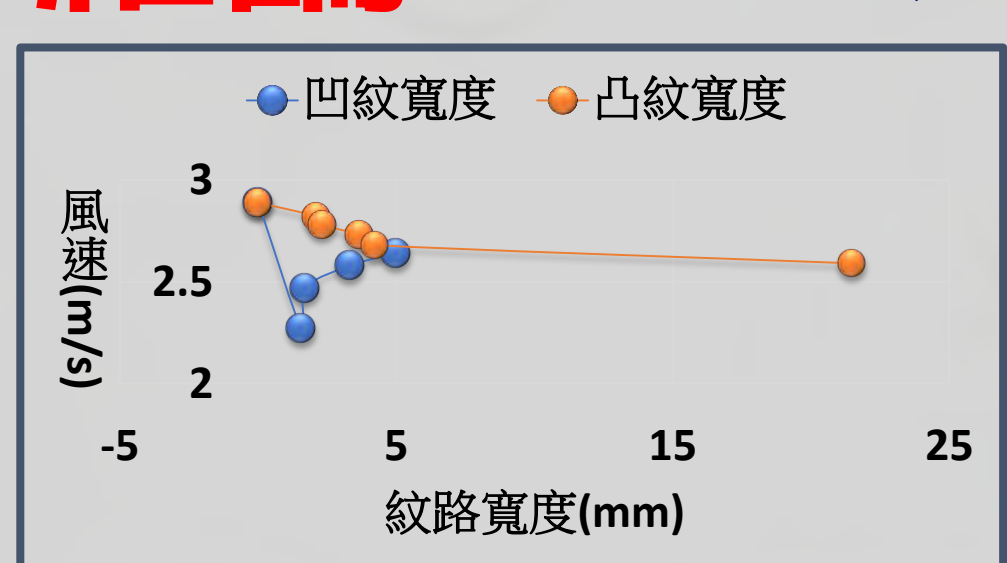


圖16 空心凸紋深度對球頂風速變化圖 (n=10)

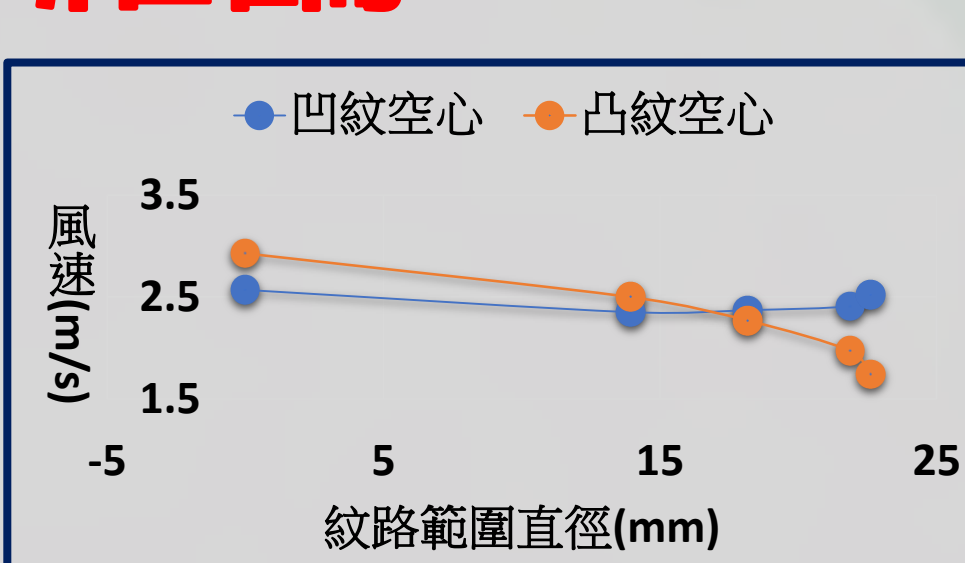
由圖15、16可以發現在一定的厚度下，凸紋越厚，紋路上方測速流速越慢，但超過限制後，開始有流速減緩變慢的情形，越厚會越來越往實心的情形靠近，與空心凹痕相反，另外從影片可以得知，厚度越厚，氣流產生迴旋的情況越嚴重。

結論1：紋路寬度



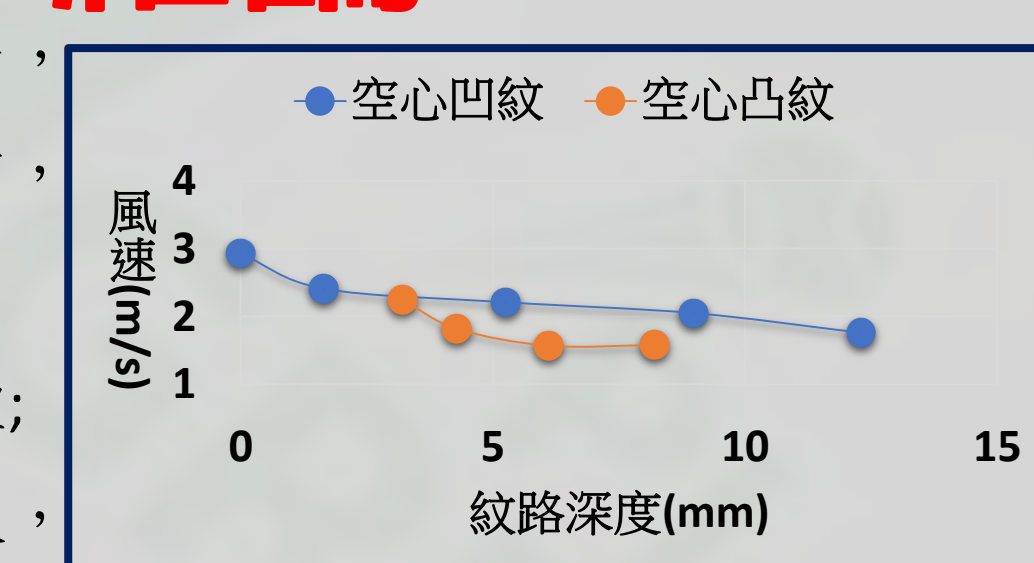
從內凹空心紋路側邊風速可發現，一開始會降低風速，當紋路寬度超過1.6mm時會讓風速緩慢提升，也就是超過特定寬度比例時，紋路對空氣的吸引力會減弱。而外凸空心紋路旁可以發現，寬度越高，其風速慢慢減緩，接近實心的風速。

結論2：紋路範圍



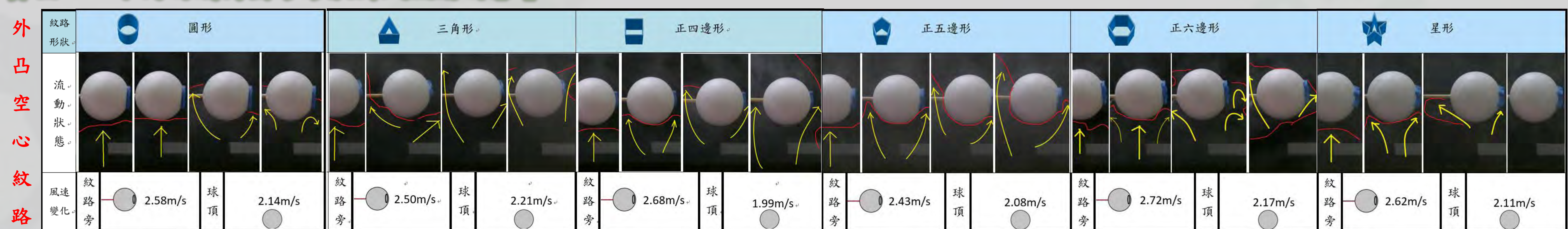
從紋路範圍來看，在一定的紋路大小下，凹紋空心範圍越大，空氣越容易通過球體；而凸紋空心範圍越大，空氣停滯的情形反而會越明顯。

結論3：紋路深度



凸、凹紋路的情形類似，深度越深，流速越慢，但太深時速度沒甚麼太大的速度變化。

實驗二：不同的幾何圖形形狀對風流動的影響



從圖20、21可以發現特殊紋路風速較快的原因很可能是風流動方向的傾向所影響，可以看出圓形、正六邊形、正方形的風比較可以沿著主體繞過去，而正五邊形上面兩角會讓風沿兩側方向跑掉，而讓我在上方測量時產生風比較弱的情形。



圖20 凸紋形狀對紋路旁風速圖 (n=10)

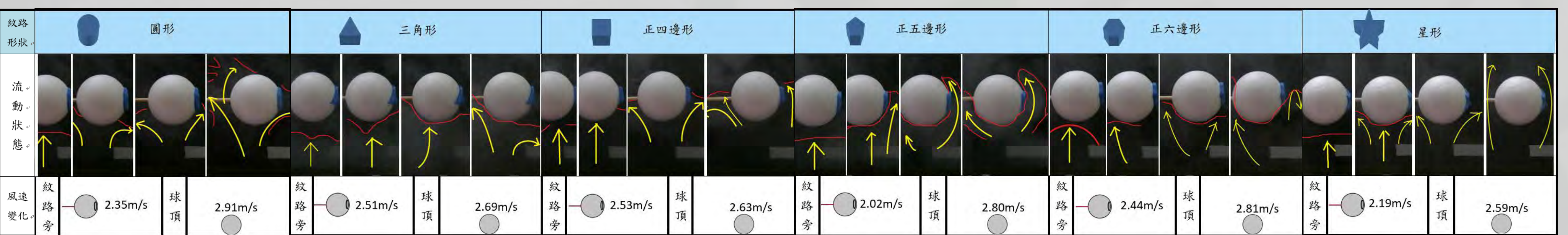


圖21 凸紋形狀對球頂風速圖 (n=10)

結論4-1:形狀

空心凸紋側邊風速大小為正六邊形 > 正方形 > 星形 > 圓形 > 正三角形 > 正五邊形。

外凸實心紋路



由圖22、23發現當實心紋路的時候，風變得不會被吸入的狀態，而是從邊緣快速地流過，可以發現只要有紋路的而星型與正五邊型主要是因為角是往其他方向，所以對風的引導會導向其他地方，導致在紋路上的風速測量會有弱化風速的情形。



圖22 實心凸紋形狀對紋路旁風速比較圖 (n=10)



圖23 實心凸紋形狀對球頂風速比較圖 (n=10)

結論4-2:形狀

實心凸紋側邊風速大小為正方形 > 正三角形 > 正六邊形 > 圓形 > 星形 > 正五邊形。

實驗三：氣體溫度對風流動的影響

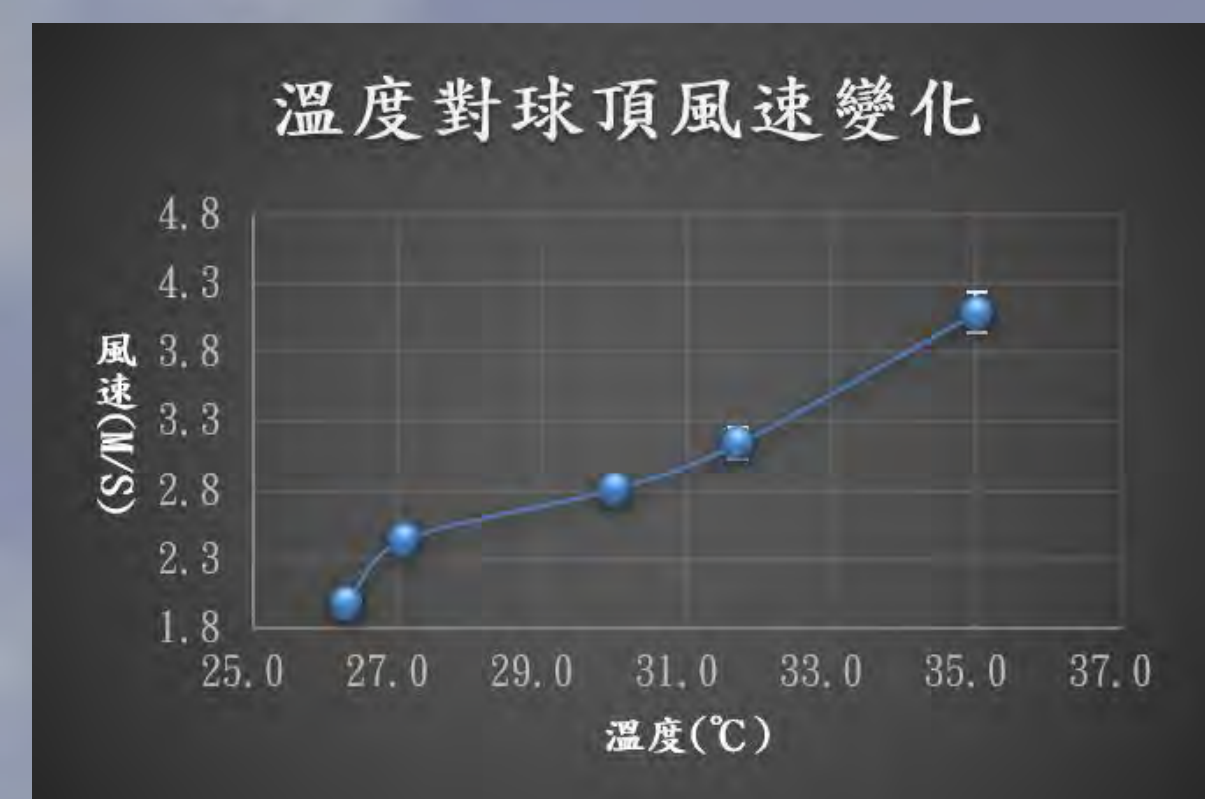
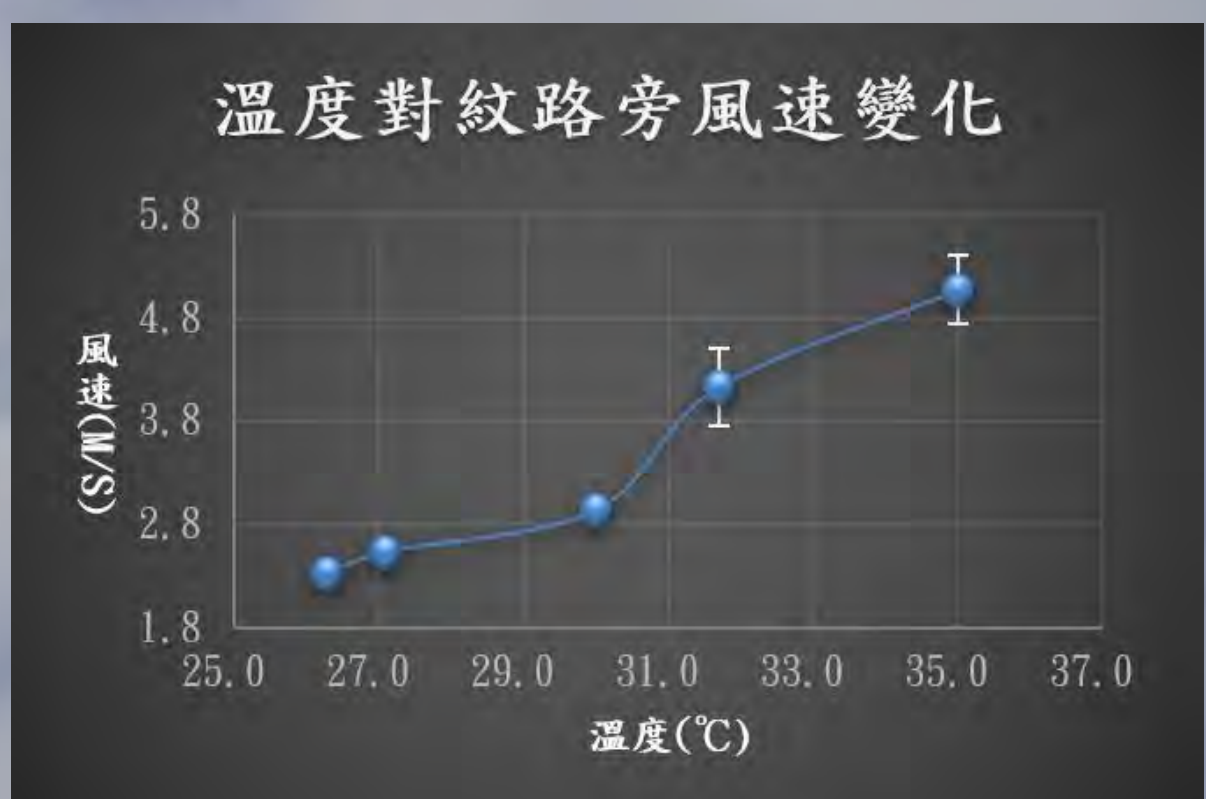
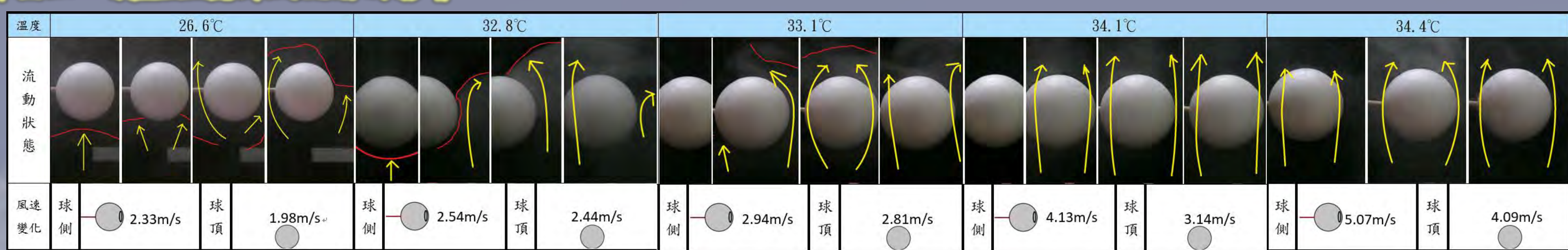


圖24 溫度對紋路旁風速變化圖(n=10)

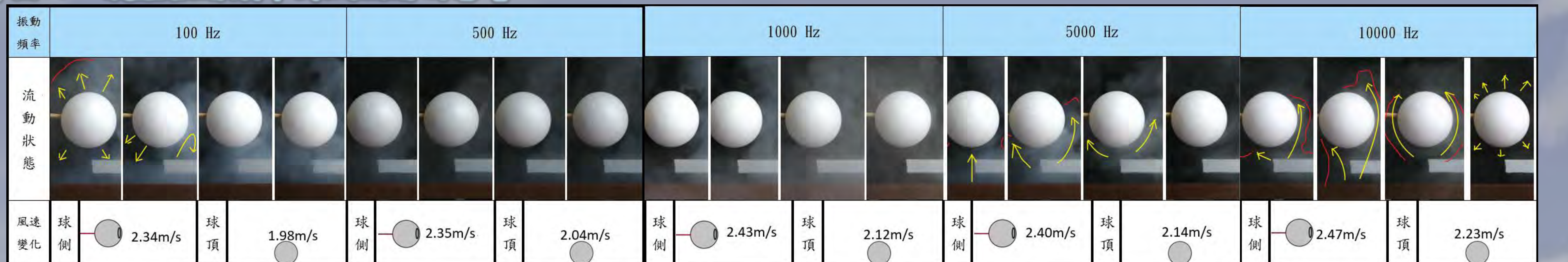
圖25 溫度變化對紋路側邊風速變化圖(n=10)

實驗是以直徑為 37.94 mm 的球來觀察，發現溫度越高，風速越快，且停留在紋路的時間也越短，溫度越高煙霧在短暫時間內就會很快消散，對球體的沾粘度越低，所以側向擴散的情形也降低，由風速的變化量也可以看出來，溫度越高，整體風速都變快了。

結論5:溫度

溫度提高後提供空氣熱量，空氣因熱漲冷縮造成密度變小，使流速變快更順暢。

實驗四：氣體振動頻率對風流動的影響



利用3d列印筆在球體上的型式，將外凸空心與實心分別代表旁邊有洞與沒洞的結果來判斷：

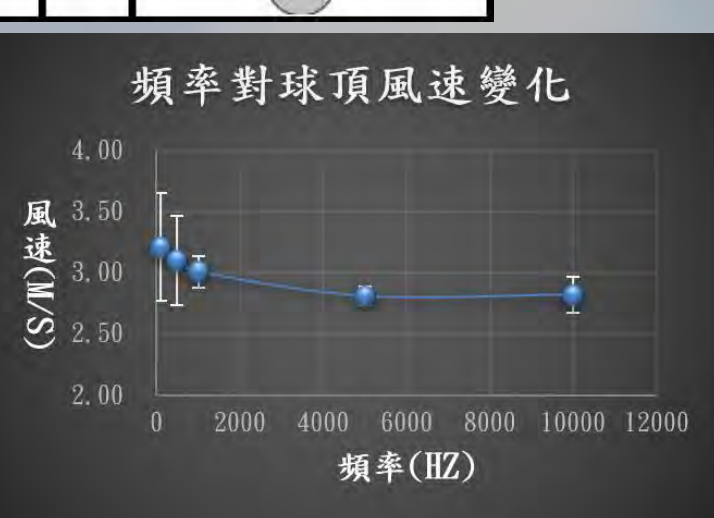
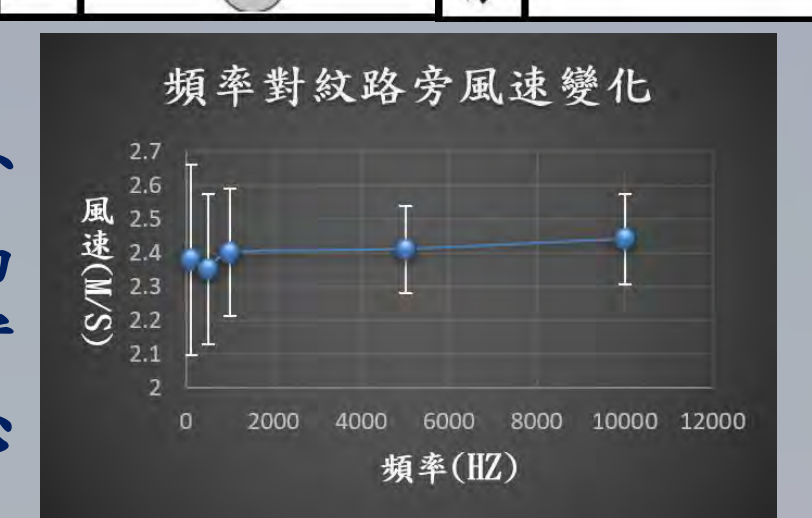
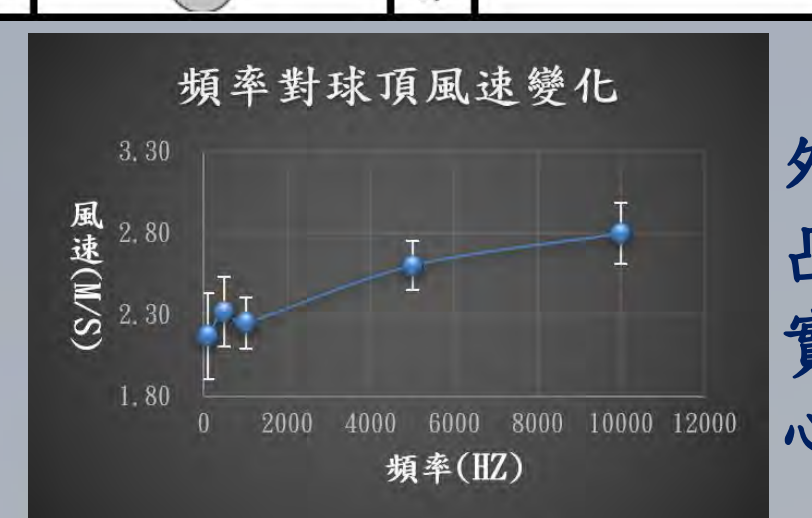
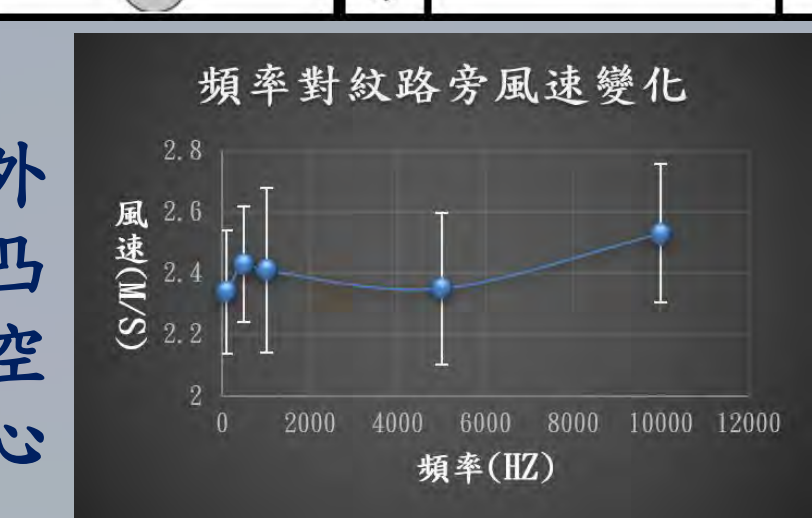
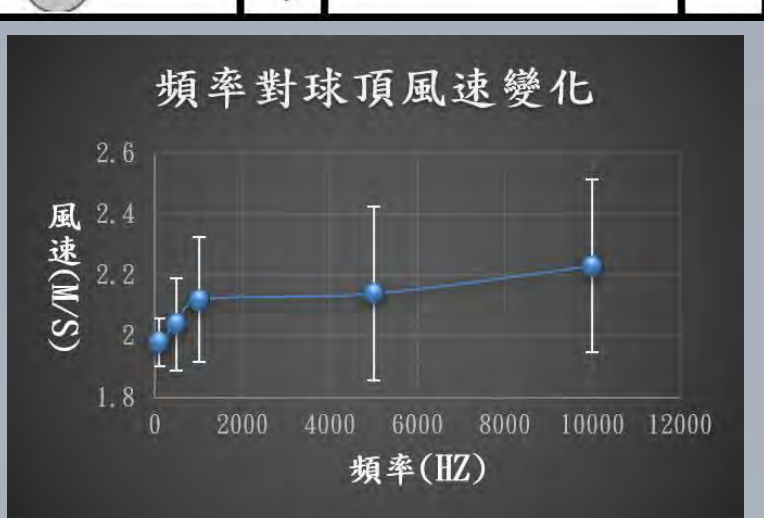
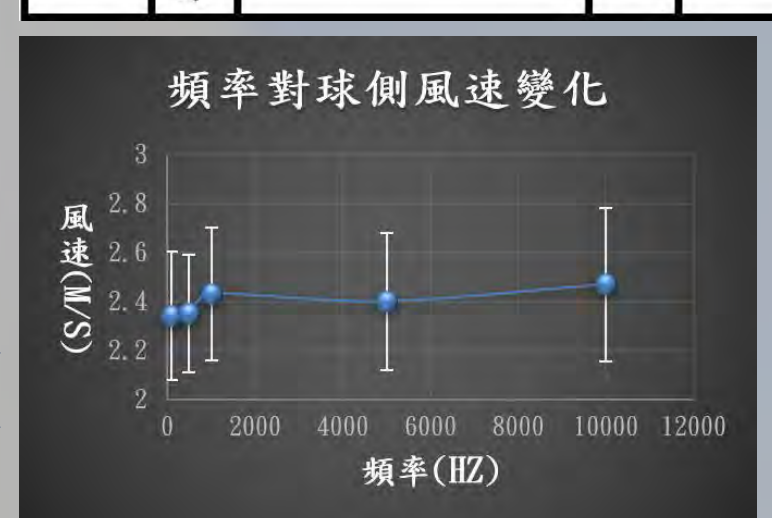
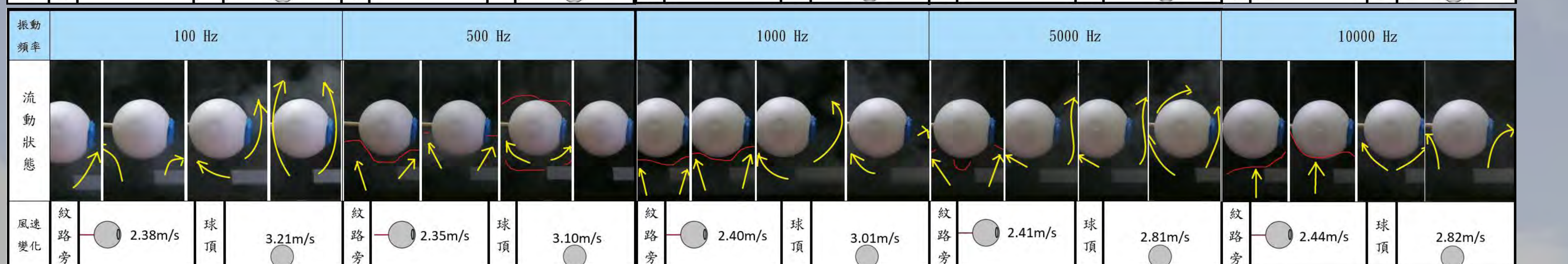
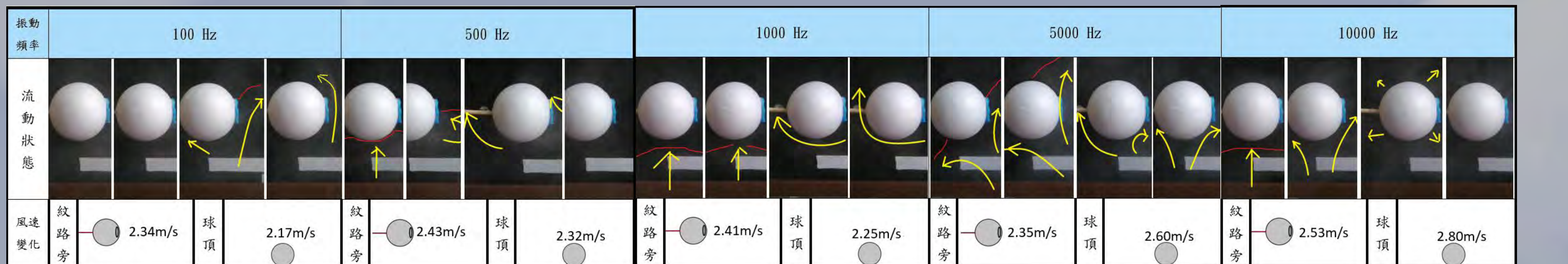


圖26 頻率對球(無紋路)側風速變化圖(n=10)

圖27 頻率對球(無紋路)頂風速變化圖(n=10)

圖28 頻率對紋路(凸空心)側風速變化圖(n=10)

圖29 頻率對球(凸空心)頂風速變化圖(n=10)

圖30 頻率對紋路(凸空心)側風速變化圖(n=10)

圖31 頻率對球(凸空心)頂風速變化圖(n=10)

從圖26~31來看，其實頻率變化對風速影響不是很大，且對紋路的實心與空心幾乎是沒有差別，尤其是在高頻的環境下，風速接近相同，但從數據中可發現風速較不穩定，測量的時候會有忽大忽小的情形，但實心紋路的穩定性相較於其他兩種似乎較高，再由觀察可以發現煙霧經過球體時會直接彈開，進而降低空氣在表面上的沾粘。

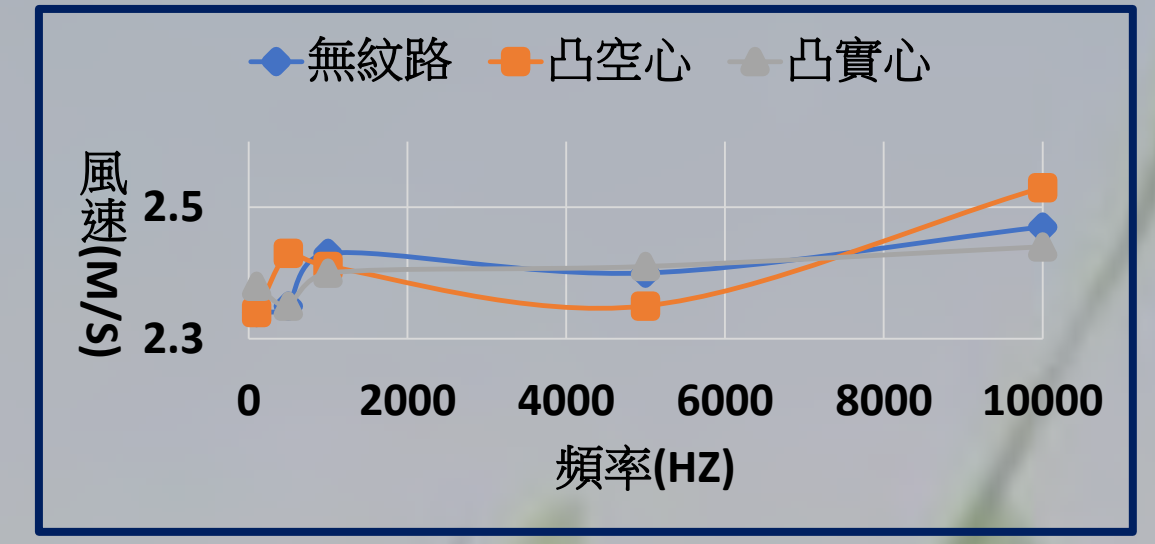


圖32 不同頻率在側邊風速比較圖(n=10)

結論6:頻率

可發現振動頻率越高，有無紋路差異小，但頻率較低時，風速個別差異性比較大。

實驗五：球體大小對風流動的影響

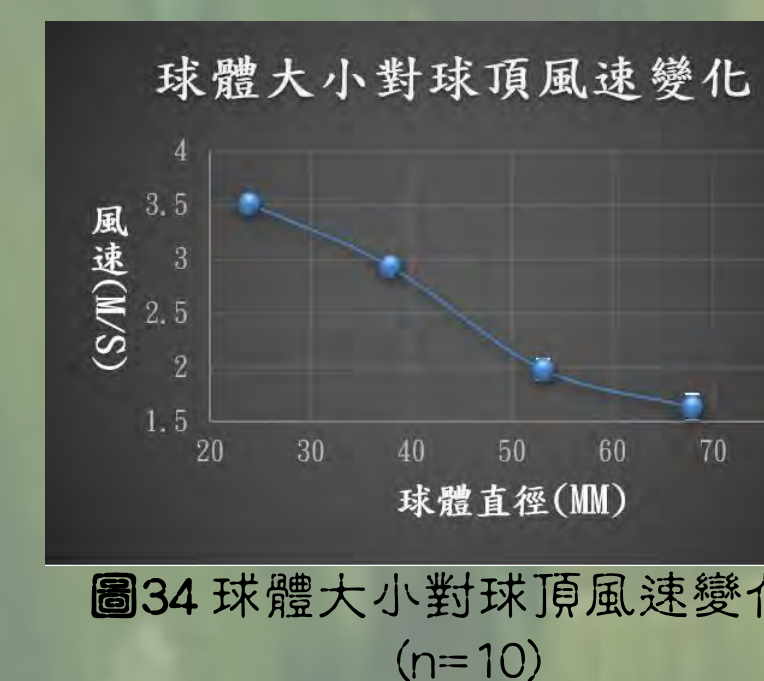
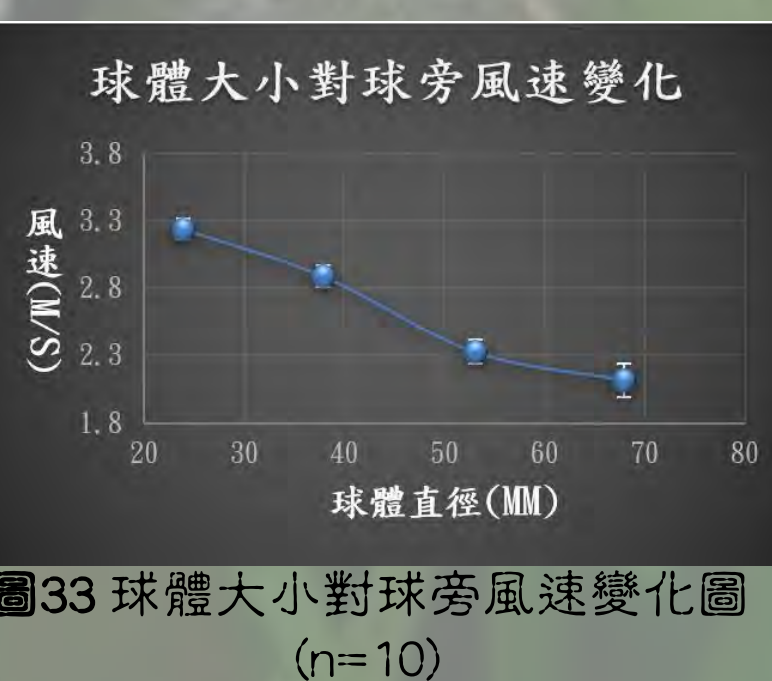
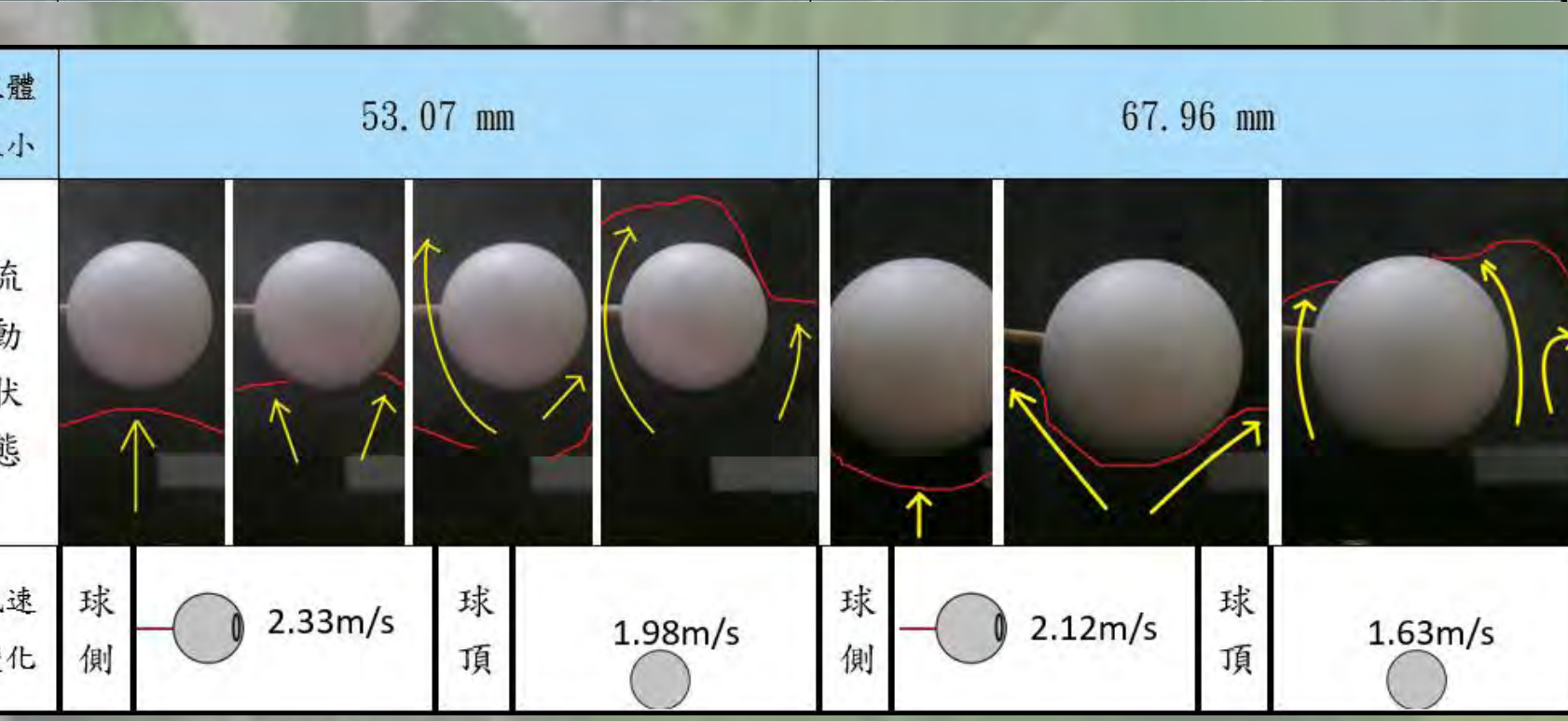
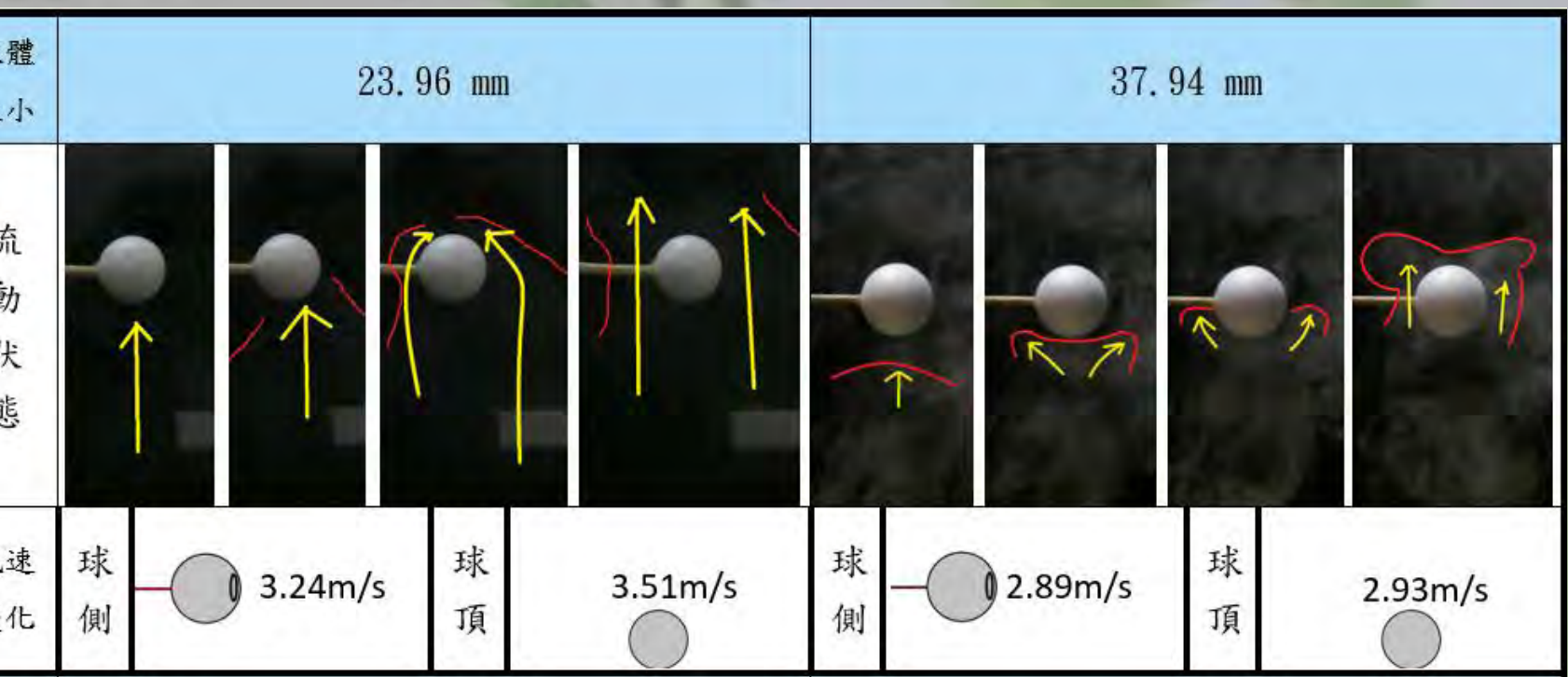
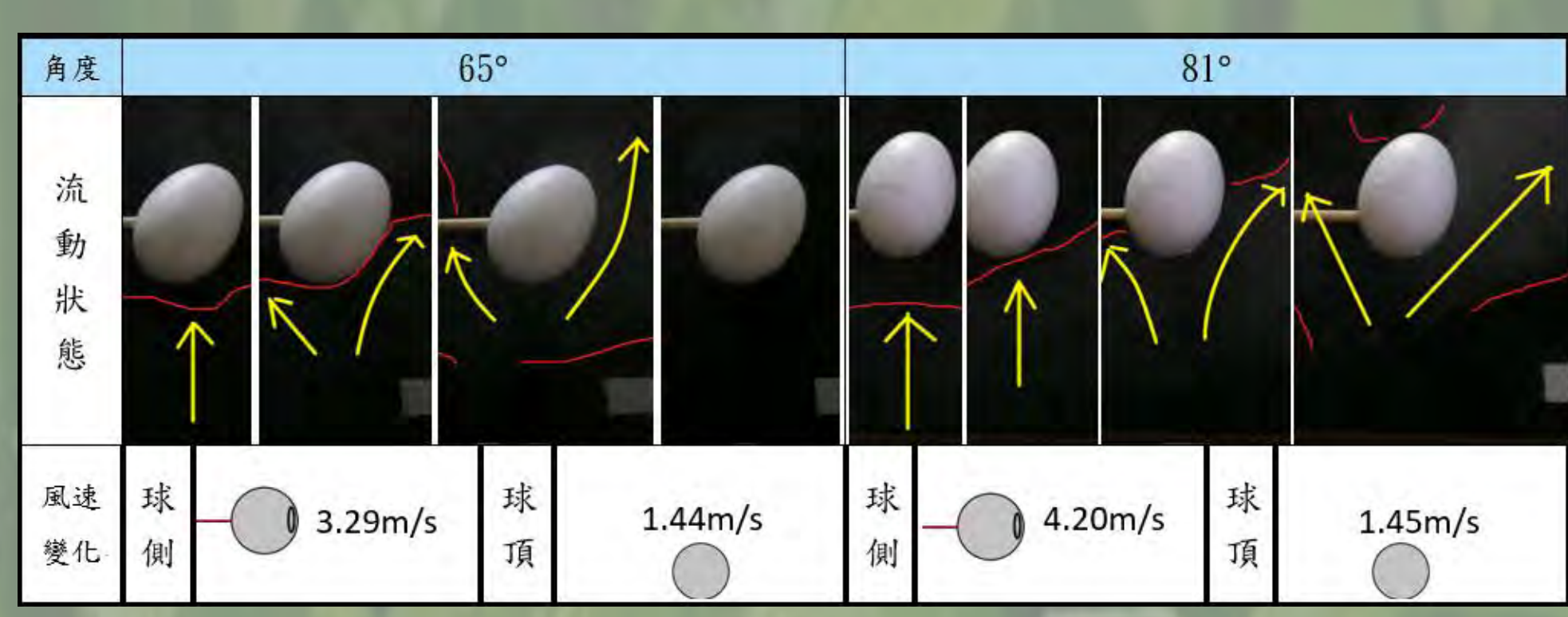
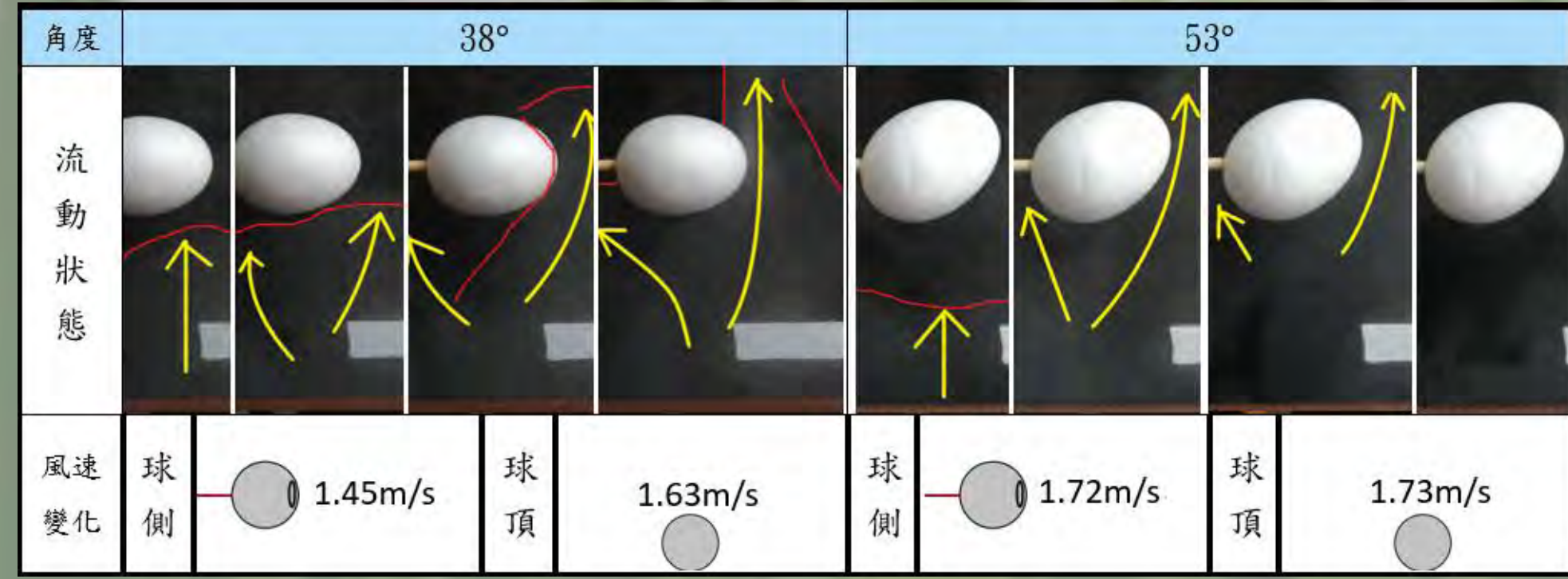


圖33 球體大小對球側風速變化圖(n=10)

圖34 球體大小對球頂風速變化圖(n=10)

可以發現直徑越大，風速越慢，主要是康達效應沿著球體表面移動，球體越大，跑得越遠，也導致速度越慢。而球頂位置推測康達效應繞過球體時，有一定的曲率，導致直徑越大，風會提高位置匯聚，而實驗是在固定球體高2cm位置檢測，因而檢測出來的流速會越慢。

實驗六：球體受風面角度對風流動的影響



觀察球體右側，角度越大，流速越快，角度越小，對氣流的引流會引到側向去，讓側速變小，而球頂流速在一開始引流到側向時，其他方向風量似乎會被吸引過來，所以風速較高，但角度越大時，風速也越大，造成球頂匯流點往上提，使偵測點風速反而會變小，我有試著將風速計每兩公分往上偵測，有發現風速會越來越大，而且可以看到風速越大其匯聚點的確有變高的趨勢。

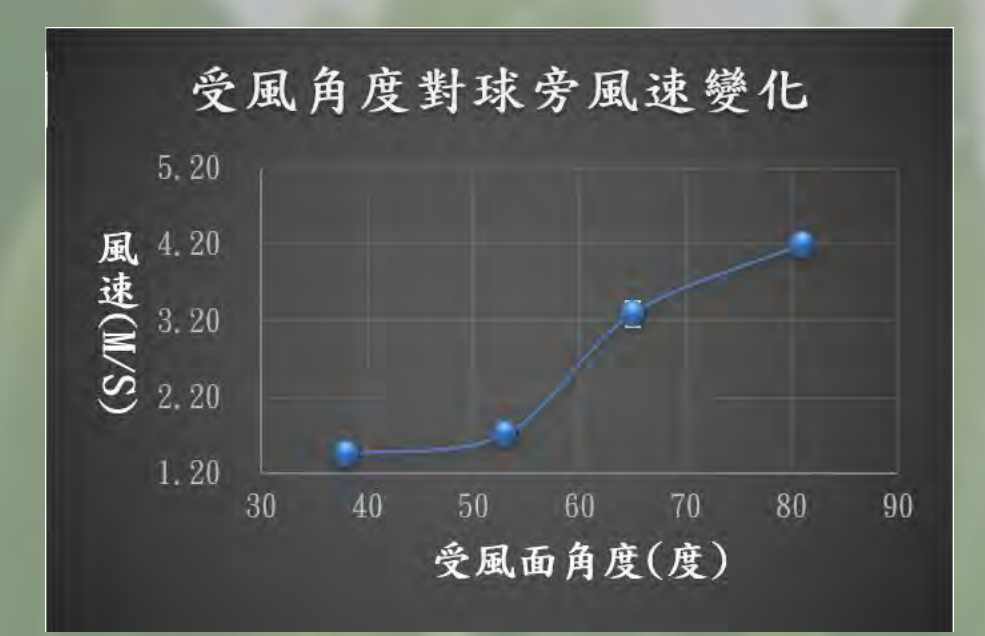


圖35 受風角度對球側風速變化圖(n=10)

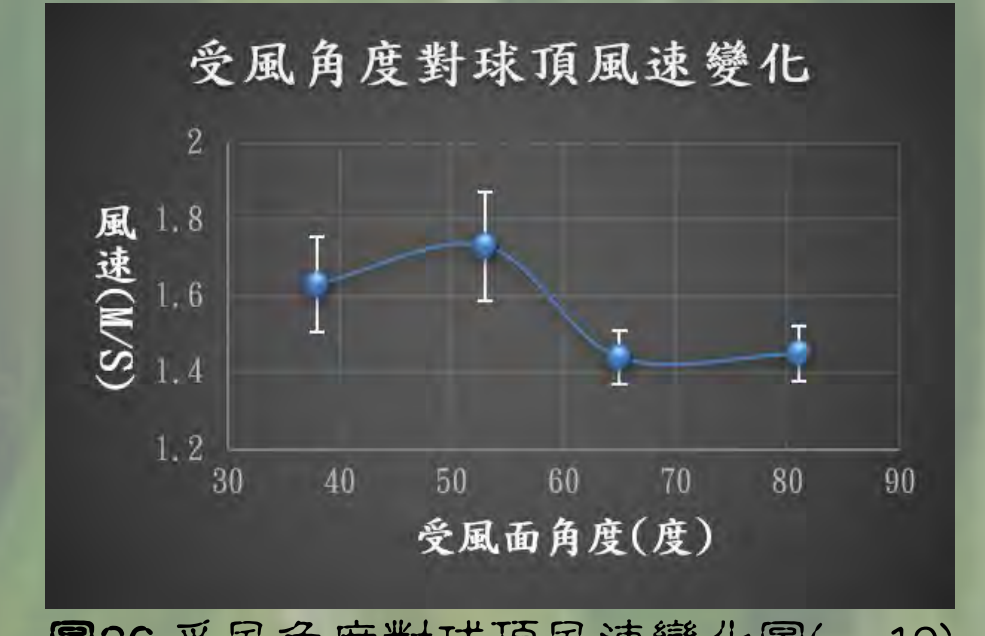


圖36 受風角度對球頂風速變化圖(n=10)



圖37 風匯聚點示意圖

結論8:角度

可發現受風角度越大，其側面流速越快，導致球頂流速變慢。

結論7:大小

球體越大，通過側邊的流速越慢。

參考資料

- 1、小峯龍男。(2015). 流體力學. 新北市: 瑞昇文化.
- 2、白努利定律。(2018年7月17日). 擷取自 維基百科: <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>
- 3、張慧貞。(2016年5月5日). 白努利定理的誤解與錯誤應用. 擷取自 物理雙月刊: https://pb.ps-taiwan.org/catalog/ins.php?index_m1_id=3&index_id=192