

新竹市第 40 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學(二)(環保與民生)

組 別：國中組

作品名稱：探討表面凹洞物體旋轉時的受力於物體的助益

關 鍵 詞：壓力感測器、球、重量變化（最多 3 個）

編 號：

摘要

我們使用電子秤測量馬達旋轉重量變化，我們發現電子秤數值很不穩定，我們研發了壓力感測器測重裝置，當壓力感測器上物體重量增加時， R_i 會變小，會導致迴路總電阻變小，迴路電流 I 變大， V_{out} 會變大，從 V_{out} 變化即可推算壓力感測器上物體重量的改變。從 $20K\Omega$ 水泥電阻 0-1000g 數據，物體重量平均每增加 100g，感測器讀值增加 48.43，能測出較細微變化。之後我們研究了各種不同孔洞球體旋轉重量變化、風吹對球體的影響，我們發現孔洞分布、風吹會影響球體轉動個方位重量變化，例如孔洞分布於下，數值增加；孔洞分布於上，數值減少，最後我們把馬達與球體應用於船上，發現風吹向球體，球旋轉方向順風處與逆風處產生壓力差，產生側向力(順風處往逆風處)。

壹、研究動機

在一年多前，我們在網路上看到一篇文章，其中有一張圖片，是一艘船上有兩個圓柱體，圓柱體旋轉與氣流作用，可以使船隻前進，進而減省所需的燃料。這引發我們的好奇，想要去了解為何圓柱體旋轉時可以產生前進的力量、氣流如何影響圓柱體的運動，以及是否有其他的影響因素，所以我們設計實驗來解答我們的疑問。

貳、研究目的

- 一、自製數位測重裝置及電子秤測量特性分析
- 二、探討球體不同孔洞性質對球體旋轉時重量的影響
- 三、探討穩定氣流對不同孔洞球體旋轉時受力的影響
- 四、應用與實作

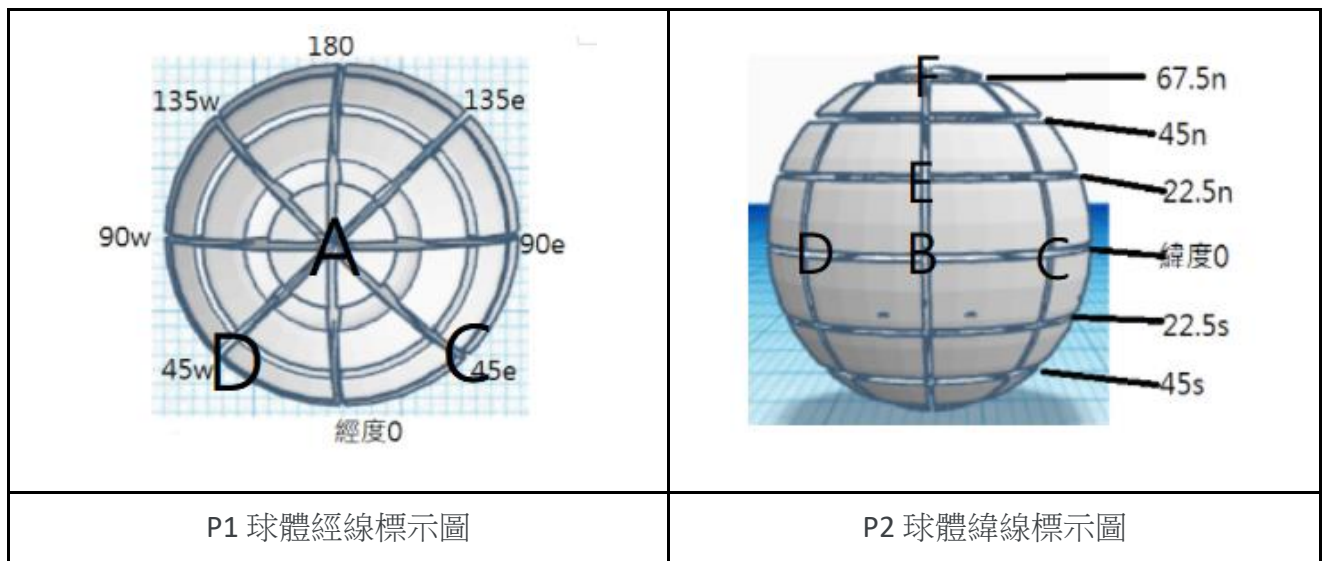
參、研究設備及器材

一、實驗器材

Arduino 板	杜邦線	麵包板	壓力感測器*6	可變轉速馬達	麵包板
壓克力板*2	橡膠墊	電子秤	珍珠板	游標卡尺	碳膜電阻
水泥電阻	分子模型球	電鑽	固定夾	水平儀	砝碼
圓規	風洞	風扇	小馬達	6V 電池	水盆

二、球體的製作與分類：

(一)球體經緯線標示




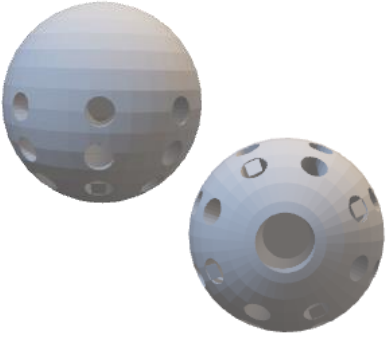
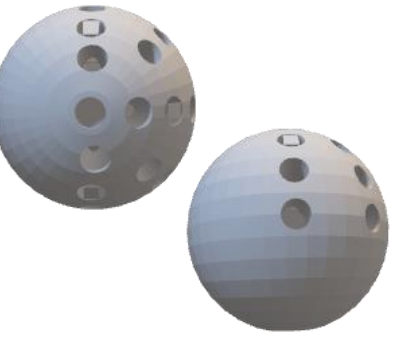

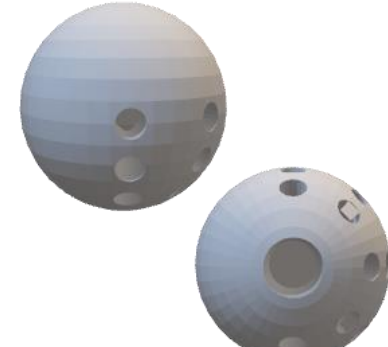


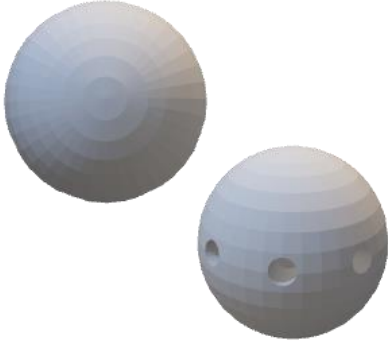




(二)球體製作方法：

- 1.將球體孔洞朝下，標示出球體最高點即為頂點(如 P1 的 A 點)
- 2.利用游標卡尺的外測量爪夾住球的頂點與下方孔洞，測量球體半徑位置(如 P2 的 C 點)
- 3.用鉛筆在步驟 2 半徑位置做記號
- 4.將圓規的針作為圓心對準球的頂點，筆芯對準半徑記號，畫出球體半徑(如 P2 的緯度 0)
- 5.將圓規的針作為圓心對準球半徑的其中一點，筆芯對準球頂點，畫出球體 0 度、180 度經線
- 6.將圓規的針作為圓心對準球半徑與 0 度經線的交點，筆芯對準球頂點，畫出球體 90w、90 e 度經線
- 7.利用軟尺測量半徑上 0 度與 90e 的距離，用鉛筆在中點做記號(如 P2 的 C 點)
- 8.將圓規的針作為圓心對準 C 點，筆芯對準 A 點，畫出球體 45w、135e 度經線
- 9.將圓規的針作為圓心對準點 D，筆芯對準 A 點，畫出球體 135w、45e 度經線
- 10.利用軟尺測量半徑與頂點的距離，用鉛筆在中點做記號
- 11.將圓規的針作為圓心對準球的頂點，筆芯對準步驟 10 記號，畫出球體 45n 緯線
- 12.利用軟尺測量半徑與 45n 的距離，用鉛筆在中點做記號(E 點)
- 13.將圓規的針作為圓心對準球的頂點，筆芯對準 E 點，畫出球體 22.5n 緯線
- 14.利用軟尺測量 45n 與頂點的距離，用鉛筆在中點做記號(F 點)
- 15.將圓規的針作為圓心對準球的頂點，筆芯對準 F 點，畫出球體 67.5n 緯線
- 16.標示出球體底點
- 17.重複步驟 10-15，將頂點改為底點，畫出 22.5s、45s、67.5s

(三)球體分類：

- 1.全(A₁)：將球體八條經線與 0 度、22.5n、45n、22.5s、45s 緯線的交點打洞，將 0、180、90w、90e 經線與 67.5n 緯線交點打洞，將頂點打洞(整顆打洞)
- 2.上二分之一(A₂)：將球體八條經線與 0 度、22.5n、45n 緯線的交點打洞，將 0、180、90w、90e 經線與 67.5n 緯線交點打洞，將頂點打洞(上半球打洞)
- 3.側二分之一(A₃)：將球體 0 度、45e、90e、135e、180 度經線與 0 度、22.5n、45n、22.5s、45s 緯線的交點打洞，將 0、180、90e 經線與 67.5n 緯線交點打洞，將頂點打洞(側半球打洞)
- 4.下二分之一(A₄)：將球體八條經線與 0 度、22.5s、45s 緯線的交點打洞(下半球打洞)
- 5.上四分之一(A₅)：將球體 0 度、45e、90e、135e、180 度經線與 0 度、22.5n、45n 緯線的交點打洞，將頂點打洞(上半球二分之一打洞)
- 6.側四分之一(A₆)：將球體 0 度、45e、90e 經線與 0 度、22.5n、45n、22.5s、45s 緯線的交點打洞，將 0、90e 經線與 67.5n 緯線交點打洞，將頂點打洞(側半球二分之一打洞)
- 7.下四分之一(A₇)：將球體 0 度、45e、90e、135e、180 度經線與 0 度、22.5s、45s 緯線的交點打洞(下半球二分之一打洞)
- 8.上八分之一(A₈)：將球體 0 度、45e、90e 經線與 0 度、22.5n、45n 緯線的交點打洞，將 0、90e 經線與 67.5n 緯線交點打洞，將頂點打洞(上半球四分之一打洞)
- 9.下八分之一(A₉)：將球體 0 度、45e、90e 經線與 0 度、22.5s、45s 緯線的交點打洞(下半球四分之一打洞)
- 10.無洞(A₁₀):不打洞，表面光滑的球體
- 11.半大(A₁₁)：將球體八條經線與 0 度和 22.5n 緯線的中點的交點打洞(中央一圈打洞)
- 12.半中(A₁₂)：將球體八條經線與 22.5n 和 45n 緯線的中點的交點打洞(上半球中央一圈打洞)
- 13.半小(A₁₃)：將球體八條經線與 45n 和 67.5n 緯線的中點的交點打洞(頂點外一圈打洞)

		
全(A ₁)	上二分之一(A ₂)	側二分之一(A ₃)
		
下二分之一(A ₄)	上四分之一(A ₅)	側四分之一(A ₆)
		
下四分之一(A ₇)	上八分之一(A ₈)	下八分之一(A ₉)
		
半大(A ₁₁)	半中(A ₁₂)	半小(A ₁₃)

肆、研究過程或方法

一、文獻探討

(一) 先前科學家利用白努利定律建立模型，當球體逆時鐘旋轉，如 P3-1，球體上方旋轉方向與風向相同，使風速變快(V 大)；球體下方旋轉方向與風向相反，與風產生阻力，使風速變慢(V 小)，上方壓力較小，下方壓力較大，使球體產生升力。

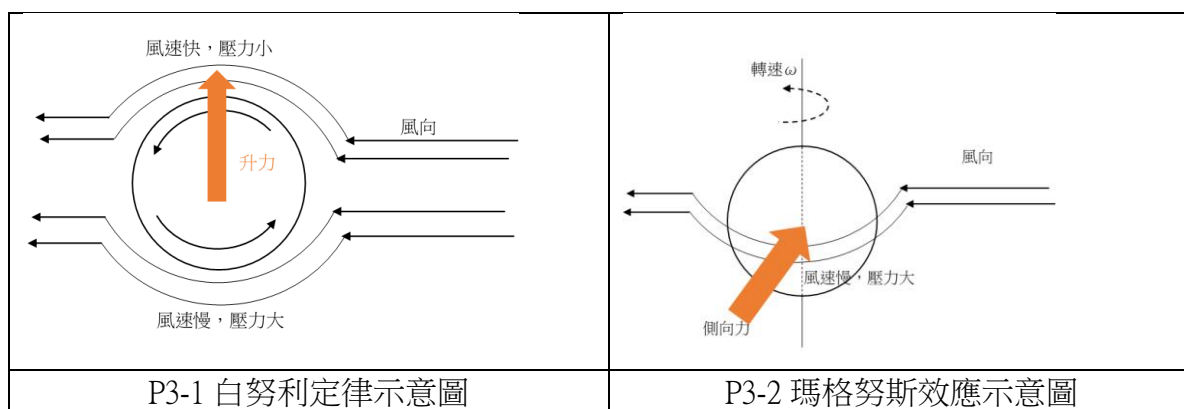
(二) 白努利定律：當無黏性的流體的速度增加時，流體的壓力能或位能總和將減少。沿著直線流向的所有點上動能，位能，與內能的總和保持不變，能量守恆，動態壓力和單位體積動能的增加，而在同時會導致其靜態壓力，單位體積流體的位能、內能等三者總和的減少。

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

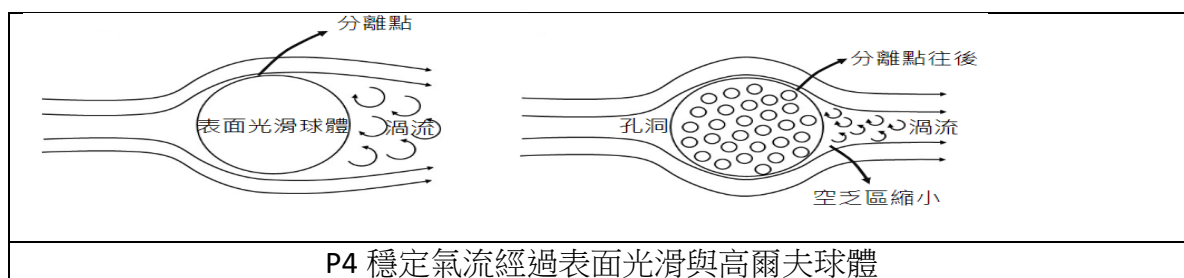
P：該點壓力，且視大氣壓為 0， ρ =液體密度、 v =流速、 g =重力加速度、 y =高度

(三) 瑪格努斯效應：當一個旋轉物體在旋轉被風吹到時，在與風吹垂直方向會產生一個橫向力。當風吹過物體，風向與物體旋轉方向相同，流體速度增加，壓力減小，流體速度減小，壓力增加，這樣就導致旋轉物體在橫向的壓力差，並形成橫向力，使某一側重量較重。

(四) 關於球體的側旋(球體轉軸垂直立於地面，如 P3-2)，根據馬格努斯效應，風吹球(柱)體時，球(柱)體左方與右方受到的壓力不同，且球(柱)體轉速、球(柱)體表面也會有影響。



(五) 高爾夫球原理：將表面光滑球體製造孔洞，可使球體飛行更遠。當氣流經過表面凹洞球體，原本球體表面平穩的層流邊界會變成紊流邊界層，並使分離點往後，使球體後方空乏區變小，如 P4，飛行阻力變小，可以飛行更遠。



(六) 強制渦流：流體以等角速度 ω 對中心軸旋轉，半徑與切線速度關係： $v = r\omega$ ，此種渦流稱為強制渦流。

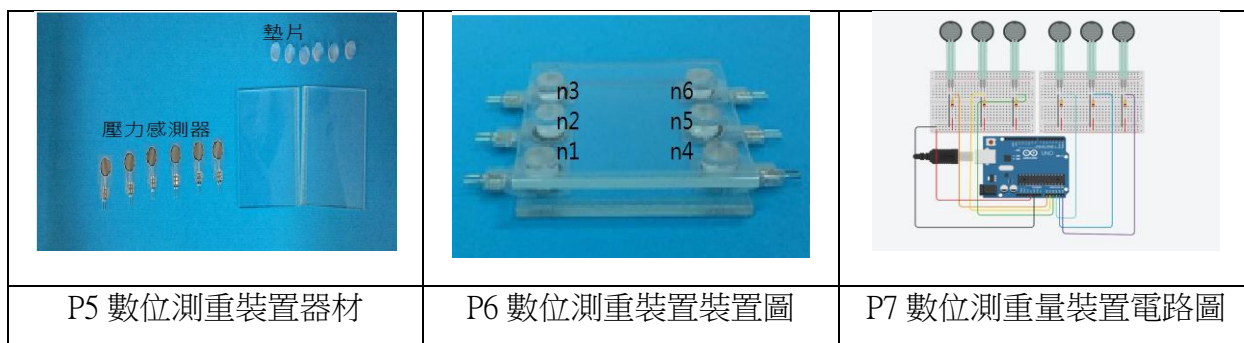
二、自製數位測重裝置的設置及測量特性分析

(一)自製數位測重量裝置

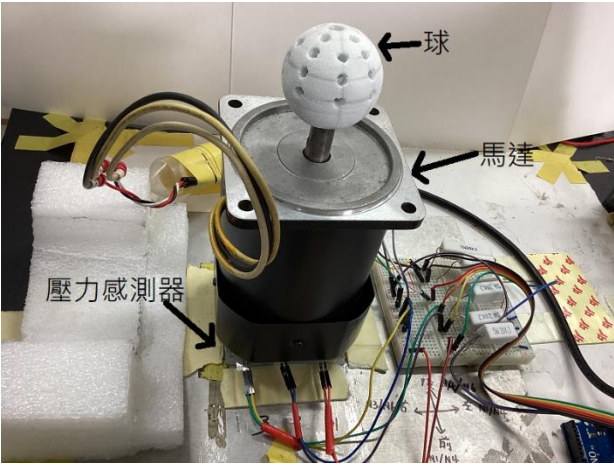
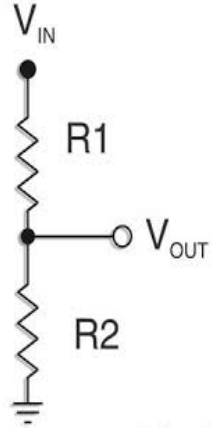
(1)取 6 個壓力感測器(GHF10-500N)，2 個 20cm*20cm 正方形壓克力板及 6 個壓克力墊片如圖 P5

(2)利用簽字筆在壓克力板上標示出壓力感測器黏貼位置， 壓力感測器正面朝上、黏於壓力板上，利用雙面膠黏貼壓力感測器，數位測重裝置圖如圖 P6

(3)自製數位測重裝置電路圖如圖 P7



<pre> #define fsrPin A0 #define fsr1Pin A1 #define fsr2Pin A2 #define fsr3Pin A3 #define fsr4Pin A4 #define fsr5Pin A5 void setup() { Serial.begin(115200); Serial.println("LABELn1,n2,n3,n4,n5,n6"); } void loop(){ int a=20; //擺砝碼 int q=25; int z=75; //執行次數//100 int y=180; //回復(無重量) while(a>0){ delay(1000); Serial.println(a); a--; } delay(1000); while(q>0){ fsr_test(); Serial.println(q); delay(500); q--; } delay(1000); while(z>0){ fsr_on(); z--; } delay(1000); while(y>0){ delay(1000); Serial.println(y); y--; } delay(1000); } </pre>	<pre> void fsr_test() { int fsr_valueA0 = analogRead(fsrPin); int fsr_valueA1 = analogRead(fsr1Pin); int fsr_valueA2 = analogRead(fsr2Pin); int fsr_valueA3 = analogRead(fsr3Pin); int fsr_valueA4 = analogRead(fsr4Pin); int fsr_valueA5 = analogRead(fsr5Pin); Serial.print("DATA"); Serial.print(","); Serial.print(fsr_valueA0); Serial.print(","); Serial.print(fsr_valueA1); Serial.print(","); Serial.print(fsr_valueA2); Serial.print(","); Serial.print(fsr_valueA3); Serial.print(","); Serial.print(fsr_valueA4); Serial.print(","); Serial.println(fsr_valueA5); delay(500); } void fsr_on() { int fsr_valueA0 = analogRead(fsrPin); int fsr_valueA1 = analogRead(fsr1Pin); int fsr_valueA2 = analogRead(fsr2Pin); int fsr_valueA3 = analogRead(fsr3Pin); int fsr_valueA4 = analogRead(fsr4Pin); int fsr_valueA5 = analogRead(fsr5Pin); Serial.print("DATA"); Serial.print(","); Serial.print(fsr_valueA0); Serial.print(","); Serial.print(fsr_valueA1); Serial.print(","); Serial.print(fsr_valueA2); Serial.print(","); Serial.print(fsr_valueA3); Serial.print(","); Serial.print(fsr_valueA4); Serial.print(","); Serial.println(fsr_valueA5); delay(500); } </pre>
P8 數位測重量裝置程式碼	

	
<p>P9 實驗裝置圖</p>	<p>圖 F1 數位測重裝置電路示意圖</p>

(二)實驗原理

數位測重裝置電路示意圖如圖 F1 所示，迴路電壓 $V=V_1+V_2$ (壓電感測器電阻 R_1 的電壓為 V_1 ，固定電阻 R_2 之電位差 V_2)

$$V = V_1 + V_2 = IR_1 + IR_2 \cdots \cdots (1)$$

$$\Rightarrow I = \frac{V}{R_1+R_2}$$

$$V_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1+R_2} V \cdots \cdots (2)$$

$$V_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1+R_2} V \cdots \cdots (3)$$

當壓力感測器上物體重量增加時， R_1 會變小，當 R_1 變小時迴路總電阻變小，迴路電流 I 變大， V_{out} 會變大，只要從 V_{out} 變化即可推算壓力感測器上物體重量的改變。

數位測重裝置電路設計將壓電感測器 R_1 接至 Arduino 5V 腳位，實驗裝置透過 Arduino 程式讀取 A0 類比式訊號，讀值將迴路電壓 5V 以 0 到 1023 數值顯示，利用在數位測重裝置放置不同質量的標準砝碼得到重量與 A0 值的參考曲線，即可由測得之 A0 值與標準參考曲線的關係得到數位測重裝置上物體重量變化。

實驗一、自製數位測重裝置及測量特性分析

實驗一-1 固定電阻阻值 R2 對壓力感測器讀值影響

數位測重裝置電路圖 F1 所示，當壓力感測器上方放置的物體重量不同，R1 會產生變化，由 V_{out} 變化可推算壓力感測器物上物體重量的改變，但 V_{out} 值測量靈敏度與 R1 與 R2 比值有關，因此我們嘗試改變不同的固定電阻值 R2，找出適合我們實驗的固定電阻

實驗步驟：

1. 數位測重量裝置圖如圖 P9
2. 將馬達(重量 2489gw)置於數位測重裝置圖 P6 正上方
3. 將 Arduino、固定電阻電阻 R2、數位測重裝置以 P7 電路圖方式設置
4. 固定電阻 R2 選擇阻值為 $3.9k\Omega$ 的碳膜電阻
5. 將馬達上外加 100g 砝碼，每次增加 100gw 直到 1000gw，紀錄數位測重裝置 A0(V_{out})讀值於表 1-1，將結果繪成重量對六片壓力感測器讀值圖表 1-1
6. 重複步驟 5，將步驟 5 的電阻 R2 依序換成 $15k\Omega$ 碳膜電阻、 $20k\Omega$ 水泥電阻，紀錄數位測重裝置 A0(V_{out})讀值於表 1-2、1-3，將結果繪成重量對六片壓力感測器讀值圖表 1-2、1-3
7. 重複步驟 4 到 6，馬達上的外加砝碼調整為每次增加 2gw 直到 14gw，紀錄數位測重裝置 A0(V_{out})讀值於表 1-4、1-5、1-6，將結果繪成重量對六片壓力感測器讀值圖表 1-4、1-5、1-6

實驗一-2 周遭環境變動對壓力感測器讀值影響

實驗步驟：

1. 數位測重裝置圖如圖 P6
2. 將馬達(重量 2489gw)置於數位測重裝置圖 P6 正上方
3. 將 Arduino、固定電阻電阻 R2、數位測重裝置以 P7 電路圖方式設置
4. 固定電阻電阻 R2 使用 $15k\Omega$ 碳膜電阻
5. 開啟程式，感測器每 0.5 秒記錄一筆數據，共 5 筆，將結果繪成固定測量時間固定環境無動時對六片壓力感測器讀值結果圖表 1-7
6. 在有人走動的環境下重複步驟 5，將結果繪製成圖表 1-8

實驗一-3 電子秤運用於測量球體轉動速度與重量變化的關係

實驗步驟：

- 1.將 A₁₀球插於實驗裝置圖 P9 馬達轉軸
- 2.將電子秤歸零，將馬達放於電子秤上，將重量紀錄於表 1-7
- 3.將馬達轉速依序調至 812.5 rpm，1625 rpm，將測重結果紀錄於表 1-7
- 4.重複步驟 2-3

實驗一-4 利用自製測重裝置測量球體轉動速度與受力的關係

實驗步驟：

- 1.將 A₁₀球插於實驗裝置圖 P9 馬達轉軸
- 2.開啟程式
- 3.記錄壓力感測器讀值於表 1-8
- 4.將馬達轉速依序調至 812.5 rpm、1625 rpm，將測重結果紀錄於表 1-8

實驗結果：

(馬達重 2489gw)

外加砝碼重(gw)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	總和
0	186	138	126	134	104	155	873
100	195	141	136	142	114	167	905
200	205	144	138	146	116	165	914
300	216	145	147	153	119	173	953
400	217	146	152	155	121	176	967
500	221	149	157	156	121	178	982
600	233	152	162	160	127	174	1008
700	237	156	166	165	131	184	1039
800	241	161	166	170	134	199	1071
900	249	164	169	169	137	203	1091
1000	235	169	179	178	142	202	1105

表 1-1 固定電阻 R2(3.9k Ω)不同重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-1000g)

外加砝碼重(gw)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	總和
0	421	402	423	438	329	454	2467
100	439	399	483	443	333	460	2557
200	439	422	479	455	342	467	2604
300	458	390	523	474	349	454	2648
400	437	451	476	468	383	481	2696
500	455	409	558	501	379	437	2738
600	445	459	536	467	385	504	2797
700	459	427	568	503	409	485	2851
800	494	471	539	483	402	498	2885
900	468	467	565	502	416	507	2926
1000	476	434	595	529	408	509	2951

表 1-2 固定電阻 R2 (15k Ω)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-1000g)

外加砝碼重(gw)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	總和
0	421	402	423	438	329	454	2467
100	439	399	483	443	333	460	2557
200	439	422	479	455	342	467	2604
300	458	390	523	474	349	454	2648
400	437	451	476	468	383	481	2696
500	455	409	558	501	379	437	2738
600	445	459	536	467	385	504	2797
700	459	427	568	503	409	485	2851
800	494	471	539	483	402	498	2885
900	468	467	565	502	416	507	2926
1000	476	434	595	529	408	509	2951

表 1-3 固定電阻 R2 (20k Ω)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-1000g)

外加砝碼重(gw)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	總和
0	218	254	173	150	110	165	1069
2	205	244	177	141	96	146	1010
4	222	257	184	133	106	171	1073
6	217	252	181	151	101	163	1065
8	216	251	161	145	138	161	1071
10	202	242	205	164	96	142	1050
12	207	245	196	149	90	148	1035
14	209	247	184	158	87	152	1037

表 1-4 固定電阻 R2 (3.9k Ω)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-14g)

外加砝碼重(gw)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	總和
0	387	386	381	375	243	389	2161
2	408	404	360	350	253	413	2187
4	388	386	406	389	251	391	2210
6	409	404	408	371	242	414	2247
8	409	379	468	326	299	387	2267
10	410	401	474	287	304	419	2295
12	401	404	434	372	300	397	2308
14	425	395	472	382	287	359	2319

表 1-5 固定電阻 R2 (15k Ω)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-14g)

外加砝碼重(gw)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	總和
0	436	400	454	417	325	472	2504
2	448	386	492	413	290	484	2513
4	446	386	507	416	324	445	2524
6	431	405	484	416	324	471	2531
8	429	396	497	418	334	471	2545
10	439	423	481	421	315	482	2561

12	338	405	506	479	392	468	2588
14	482	433	483	409	324	495	2626

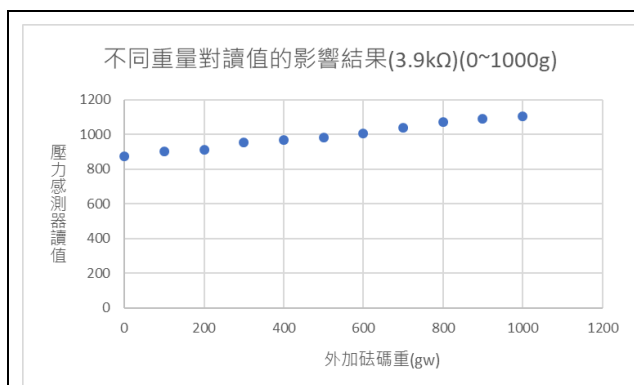
表 1-6 固定電阻 R2 (20k Ω)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-14g)

	測重結果一(g)	測重結果二(g)	平均
轉速 0 rpm	2487.7	2489.3	2488.5
轉速 812.5 rpm	2487.2	2488.9	2488.05
轉速 1625.0 rpm	2487.2	測不到	

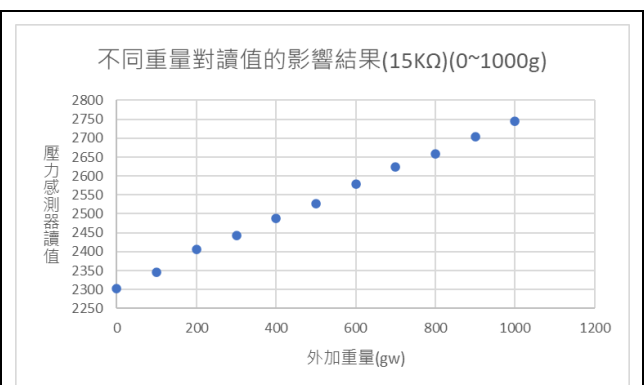
表 1-7 電子秤測試馬達轉速對重量變化的影響

轉速	測量結果
轉速 0 rpm	2517.9
轉速 812.5 rpm	2517.26
轉速 1083.3 rpm	2475.16

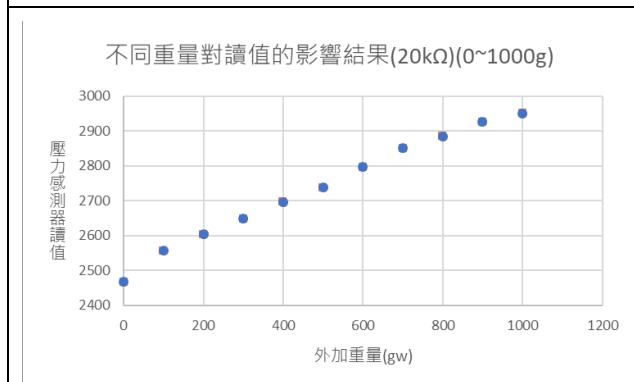
表 1-8 自製測重裝置測試馬達轉速對重量變化的影響



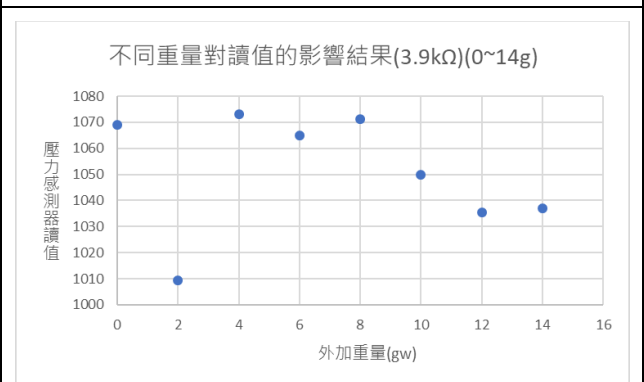
圖表 1-1 固定電阻電阻 R2(3.9k Ω)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-1000g)



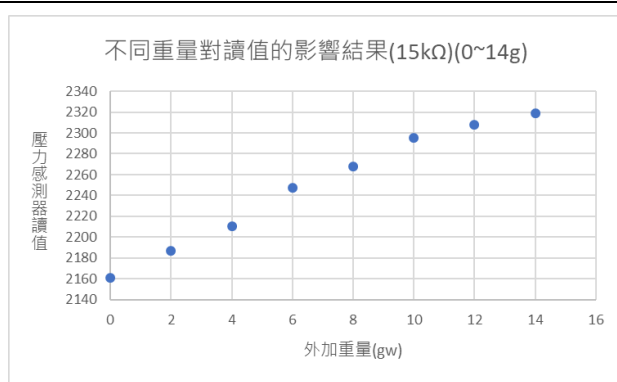
圖表 1-2 固定電阻電阻 R2(15k Ω)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-1000g)



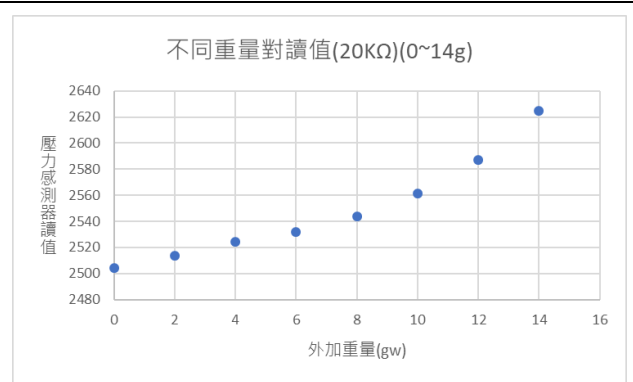
圖表 1-3 固定電阻電阻 R2(20k Ω)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-1000g)



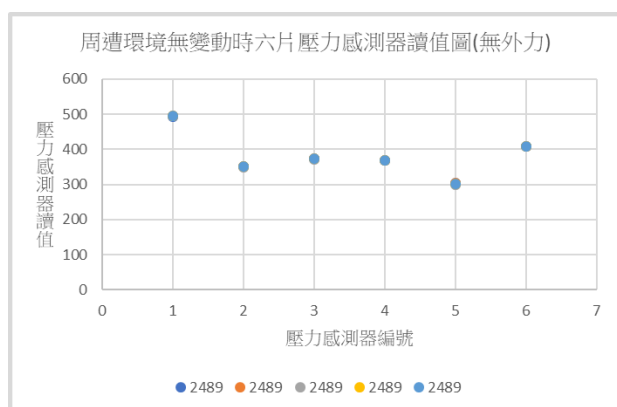
圖表 1-4 固定電阻電阻 R2(3.9k Ω)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值影響(0-14g)



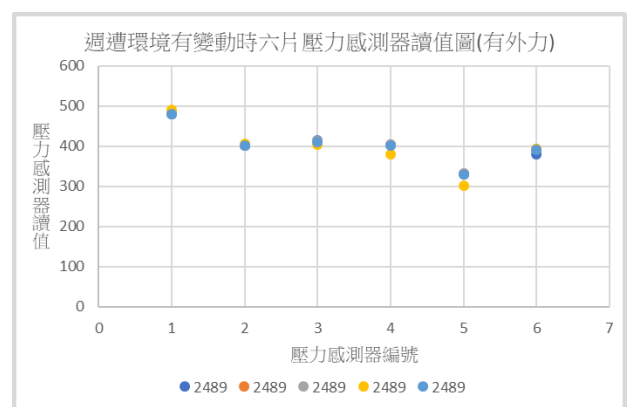
圖表 1-5 固定電阻電阻 R2(15kΩ)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-14g)



圖表 1-6 固定電阻電阻 R2(20kΩ)重量對數位測重裝置 A0(V_{out})讀值結果(0-14g)



圖表 1-7 時間對六片壓力感測器讀值圖(無外力)



圖表 1-8 時間對六片壓力感測器讀值圖(有外力)

討論與分析:

1. 實驗結果表 1-1 顯示壓力感測器(n1~n6) 上方載重越大，數位測重裝置 A0(V_{out})讀值越大，固定電阻 R2 為 3.9kΩ 碳膜電阻，此自製數位測重裝置上方載重(馬達重+砝碼重)範圍介於 2489~3489gw 的實驗結果，不管是各個單一壓力感測器或 n1~n6 的總和結果都能有效達到測重的目的。
2. 表 1-1 其關係圖如圖 1-1，各個單一壓力感測器 n1~n6 或 n1~n6 的總和結果都呈現上方載重越大，數位測重裝置 A0(V_{out})讀值越大，顯示數位測重裝置 P7 中固定電阻 R2 為 3.9kΩ 碳膜電阻對於馬達上放載重 1000g 的物體重量變化能有效進行測量。
3. 由於此數位測重裝置希望用來研究轉動球體的重量變化，數位測重裝置的靈敏度與壓力感測器電阻與固定電阻比值有關，因此量測較小的重量變化需要選擇合適固定電阻 R2，針對不同固定電阻 3.9kΩ，15kΩ 碳膜電阻、20kΩ 水泥電阻，數位測重裝置 A0(V_{out})讀值於表 1-4、1-5、1-6。
4. 當電阻 R2 為 15kΩ，馬達上載重 0~14gw，關係圖 1-4 顯示不管是各個單一壓電材料或 n1~n6 的總和結果都能有效區分，固定電阻 R2 數值越大，此數位測重裝置的測重靈敏度越高，所以選擇 20kΩ 的水泥電阻當作 R2 進行實驗。
5. 周遭環境互動確實會影響壓力感測器讀值的穩定性。從圖表 1-7、1-8 可以看到周遭有人走動時，在相同重量之下，數據跳動較大，會影響測量的精確度，沒有人走動的數據幾乎沒有變化；可知周遭的震動會影響壓力感測器的讀值。

6.從表 2-2 可以看到當馬達轉速上升，壓力感測器讀值會下降，可知當馬達旋轉，重量下降，壓力感測器阻值變大，R1、R2 總電阻值變大，使讀值變小。壓力感測器讀值較為穩定，沒有一直跳動的問題，所以使用自製壓力感測器測重裝置測量旋轉物體重量變化結果較精確。

7.使用電子秤測量旋轉物體重量變化較不穩定。實驗結果如表 2-1 所現，可以看出當馬達旋轉時，物體重量大致下降，但每增加一定轉速，重量變化量都不相同，有時重量還會顯示上升、數字常有些微變動，且一段時間後會自動跳停，不適合長時間測量，因此我們決定使用壓力感測器作為測量工具。

實驗二、探討旋轉球體上不同孔洞位置對球體受力的影響

實驗二-1 測量球體有無孔洞對旋轉球體重量的影響

實驗步驟：

- 1.將 A₁₀球插於馬達轉軸
- 2.準備壓力感測器裝置到定位，設置測重量裝置如 P9
- 3.電阻為 20kΩ 水泥電阻
- 4.開啟程式，感測器每 0.5 秒一組數據，共 125 筆，取第 66-95 筆數據，將每組數據加總、平均，紀錄於表 2-1
- 5.將馬達轉速調至 1625 rpm，重複步驟 4
- 6.將 A₁₀球換成 A₁球，重複步驟 2-5

實驗二-2 測量孔洞分布對旋轉球體重量的影響

實驗步驟：

- 1.將 A₁₀球插於馬達轉軸
- 2.準備壓力感測器裝置到定位，設置測重量裝置如 P9
- 3.電阻為 20kΩ水泥電阻
- 4.開啟程式，感測器每 0.5 秒一組數據，共 125 筆，取第 66-95 筆數據，將每組數據加總、平均，紀錄於表 2-2
- 5.將 n1 與 n4、n3 與 n6、數據分別加總、繪製出圖表 2-3
- 6.將馬達轉速調至 1625 rpm，重複步驟 4
- 7.將 A₁₀球依序換成 A₁₋₉，重複步驟 2-6，繪製出圖表 2-4 到 2-12
- 8.將表 2-2 結果繪製孔洞分布對旋轉重量變化圖表 2-1

實驗二-3 測量孔洞大小對旋轉球體重量的影響

實驗步驟：

- 1.將 A₁₀球插於馬達轉軸
- 2.準備壓力感測器裝置到定位，設置測重量裝置如 P9
- 3.電阻為 20kΩ水泥電阻
- 4.開啟程式，感測器每 0.5 秒一組數據，共 125 筆，取第 66-95 筆數據，將每組數據加總、平均，紀錄於表 2-3
- 5.將馬達轉速調至 1625 rpm，重複步驟 4
- 6.將 A₁₀球依序換成(B₁₋₉)，重複步驟 2-5
- 7.將表 2-3 結果繪製孔洞分布對旋轉重量變化圖表 2-2

實驗結果：

種類	大全	無洞
不轉	2569.8	2573.9
旋轉	2617.96	2551.33

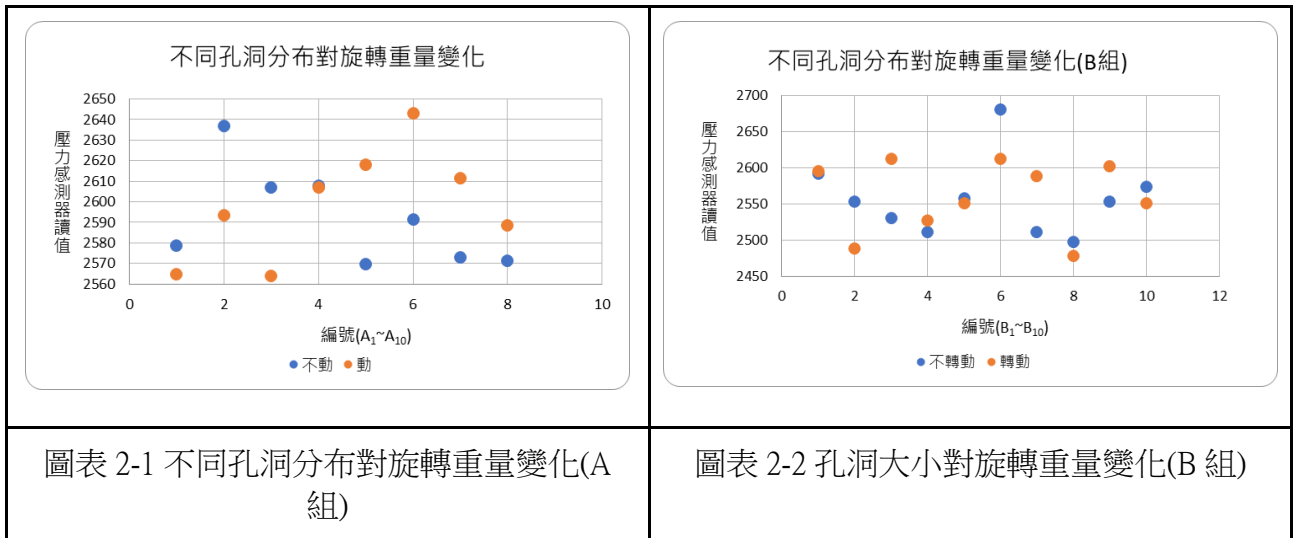
表 2-1 球體有無孔洞對旋轉重量變化

編號	A ₁₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
型式	無洞	大全	大上二分之一	大側二分之一	大下二分之一	大上四分之一	大側四分之一	大下四分之一	大上八分之一	大下八分之一
不轉	2573	2569	2578	2607	2573	2637	2466	2591	2607	2571
旋轉	2551	2617	2564	2607	2611	2593	2425	2643	2564	2588
變化量	-22	48	-14	0	38	-44	-41	52	-43	17

表 2-2 球體孔洞分布對旋轉重量變化

編號	A ₁₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉
型式	無洞	小全	小上二分之一	小側二分之一	小下二分之一	小上四分之一	小側四分之一	小下四分之一	小上八分之一	小下八分之一
不轉	2574	2592	2554	2531	2511	2557	2680	2511	2497	2553
旋轉	2551	2594	2488	2612	2526	2550	2612	2588	2477	2602
變化量	-23	2	-66	81	15	-7	-68	77	-20	49

表 2-3 球體孔洞大小對旋轉重量變化



討論與分析

1. 從表 2-1 可以看到孔洞會影響球體旋轉的重量。當球體無洞時旋轉重量會些微增加，當整顆球體布滿凹洞時，球體旋轉重量會下降。我們推測當有孔洞的球體旋轉時，孔洞會影響週遭的氣流行進，進而影響球體重量產生變化。
2. A 組結果編號(1、4、7、8、9)旋轉重量讀值明顯上升；編號(2、5、6、10)旋轉重量讀值明顯下降。
3. B 組結果編號(3、4、7、9)旋轉重量讀值明顯上升；編號(2、5、6、8、10)旋轉重量讀值明顯下降。
4. 當孔洞分布在球的下半部時，球體在旋轉重量會上升，像是表 2-1 與表 2-2 中的 A₄、A₇、A₉ 球。我們推測球體附近的氣流變動會使球體往下沉。
5. 當孔洞分布在球的上半部時，球體在旋轉重量會下降，像是表 2-1 與表 2-2 中的 A₂、A₅、A₈ 球。我們推測球體附近的氣流變動會使球體往上浮。

我們推測的形式：

<p>由強制渦流，半徑與切線速度關係：$v = r(\omega)$，中央速度快，壓力小；兩端速度慢，壓力大，所以球體表面會形成端點往中央流動的氣流，孔洞分布在球的上半部時，會影響上半球氣流的流動，使得下方氣流會通過上方孔洞區，且在圓球上方形成負壓區，所以使得球體重量變輕。此一結果可利用氣壓感測器放置在球體上方進行測量驗證。</p>	<p>轉速ω</p> <p>端點速度慢，壓力大</p> <p>氣流方向</p> <p>中央速度快，壓力小</p> <p>氣流方向</p>
--	--

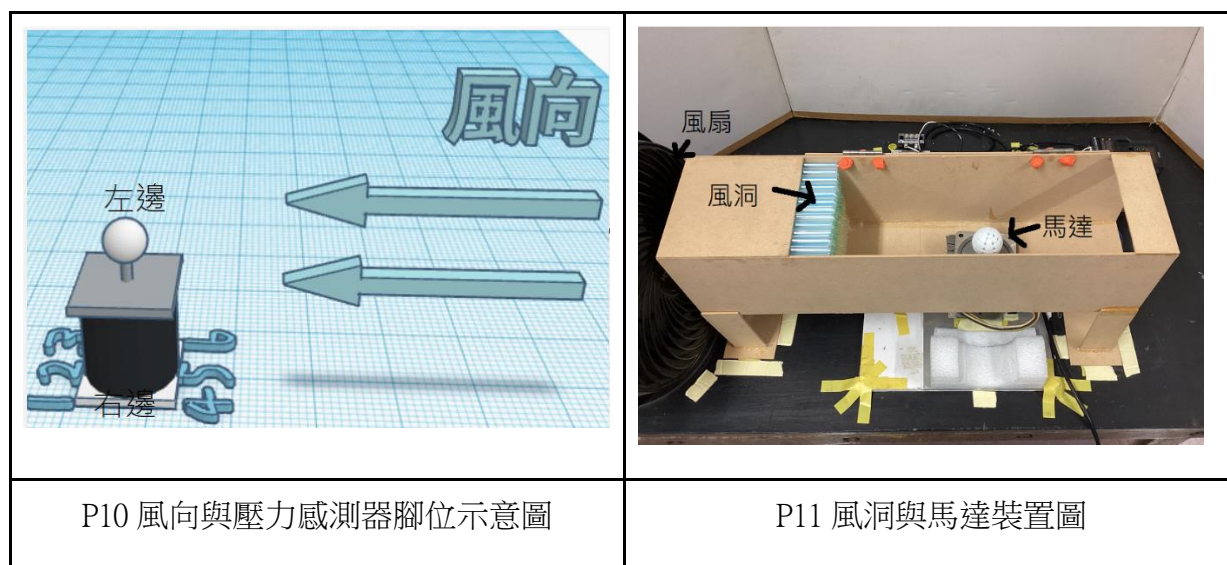
6.當球體孔洞平均分布於上下時，球體在旋轉重量會下降，像是表 2-1 與表 2-2 中的 A₆、A₁₀球。我們推測當球體上下洞數較平均，上下氣流的影響較平衡，球體變化實驗結果與表面光滑球體類似。

7.大洞球體的四分之一系列(編號 5、6、7)旋轉後的重量變化較大，變化量-44、-41、52，再來是八分之一系列(編號 8、9)變化量-43、17、二分之一系列(編號 2、3、4)變化量-14、0、48，球體四分之一打洞對球體重量變化較明顯。

8.小洞球變動幅度較大洞球無規律，可能是因為洞面積太小，無法準確影響球體旋轉周遭產生的氣流，影響球體重量變化，因此我們之後決定使用大洞球進行實驗。

實驗三、探討穩定氣流對不同孔洞球體旋轉時受力的影響

實驗裝置:



實驗三-1 測量吹風對不同球體有無旋轉力的變化影響

實驗步驟：

- 1.將 A₁₀球插於馬達轉軸
- 2.準備壓力感測器裝置到定位，設置測重量裝置如 P9
- 3.電阻為 20kΩ 水泥電阻
- 4.準備風洞到定位，風向如 P9，並開啟風扇，將風力調為第三格
- 5.將馬達轉速調至 0 rpm
- 6.開啟程式，感測器每 0.5 秒一組數據，共 125 筆，取第 66-95 筆數據，將 n₁ 與 n₄、n₃ 與 n₆、數據分別加總，繪製出圖表 3-10
- 7.將 A₁₀球換成 A₁₋₉、A₁₁₋₁₃，重複步驟 1-7，繪製出圖表 3-1 到 3-13

實驗三-2 測量有無吹風對不同球體旋轉受力的影響

實驗步驟：

- 1.將 A₁₀球插於馬達轉軸
- 2.準備壓力感測器裝置到定位，設置測重量裝置如 P9
- 3.電阻為 20kΩ 水泥電阻
- 4.準備風洞到定位，風向如 P9，並開啟風扇，將風力調為第三格
- 5.將馬達轉速調至 1625 rpm
- 6.開啟程式，感測器每 0.5 秒一組數據，共 125 筆，取第 66-95 筆數據，將 n1 與 n4、n3 與 n6、數據分別加總、繪製出圖表 3-23
- 7.將表面光滑球體(A₁₀)換成 A₁₋₉、A₁₁₋₁₃，重複步驟 1-6，繪製出圖表 3-14 到 3-26

實驗結果：

<p>吹風對不同球體無旋轉力的變化影響(左側重量、右側重量)球：全(A1)</p>	<p>吹風對不同球體無旋轉力的變化影響(左側重量、右側重量)球：上四分之一(A2)</p>
<p>圖 3-1 吹風對不同無旋轉球體的受力 (球：A₁)</p>	<p>圖 3-2 吹風對不同無旋轉球體的受力 (球：A₂)</p>
<p>吹風對不同球體無旋轉力的變化影響(左側重量、右側重量)球：側二分之一(A3)</p>	<p>吹風對不同球體無旋轉力的變化影響(左側重量、右側重量)球：下四分之一(A4)</p>
<p>圖 3-3 吹風對不同無旋轉球體的受力 (球：A₃)</p>	<p>圖 3-4 吹風對不同無旋轉球體的受力 (球：A₄)</p>

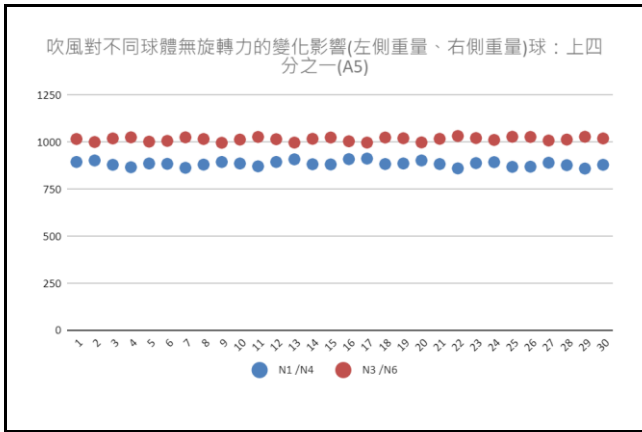


圖 3-5 吹風對不同無旋轉球體的受力(球：A₅)

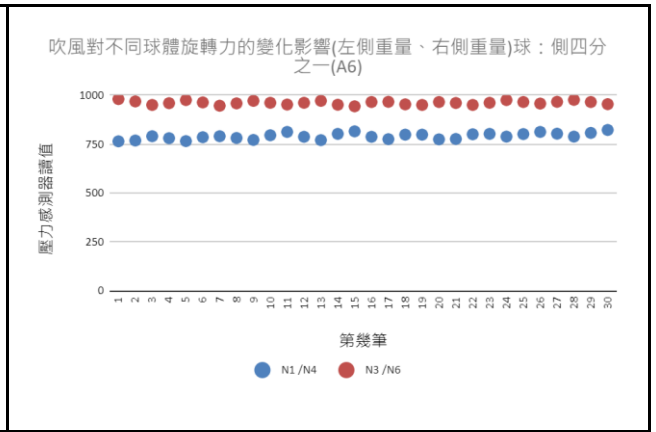


圖 3-6 吹風對不同無旋轉球體的受力(球：A₆)

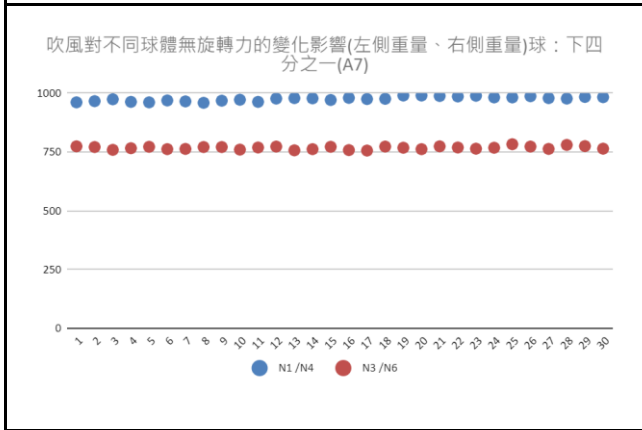


圖 3-7 吹風對不同無旋轉球體的受力(球：A₇)

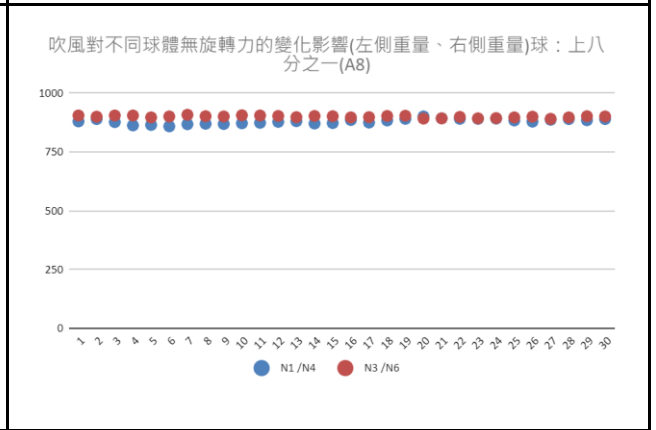


圖 3-8 吹風對不同無旋轉球體的受力(球：A₈)

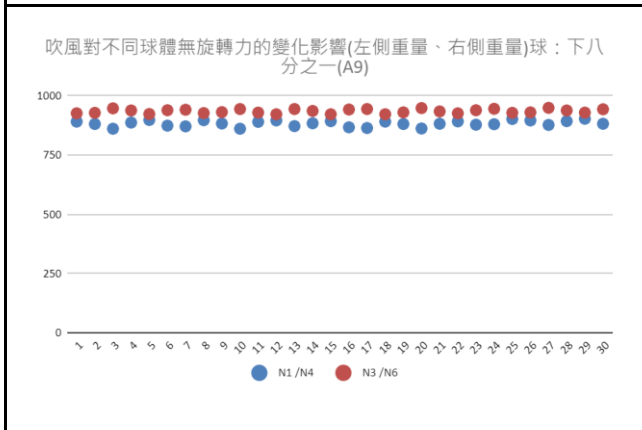


圖 3-9 吹風對不同無旋轉球體的受力(球：A₉)

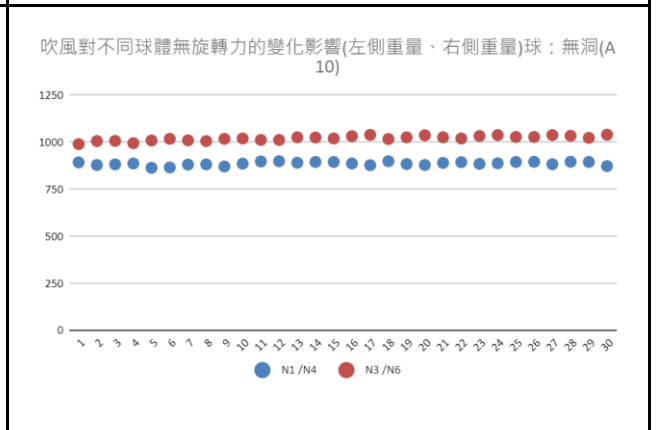


圖 3-10 吹風對不同無旋轉球體的受力(球：A₁₀)

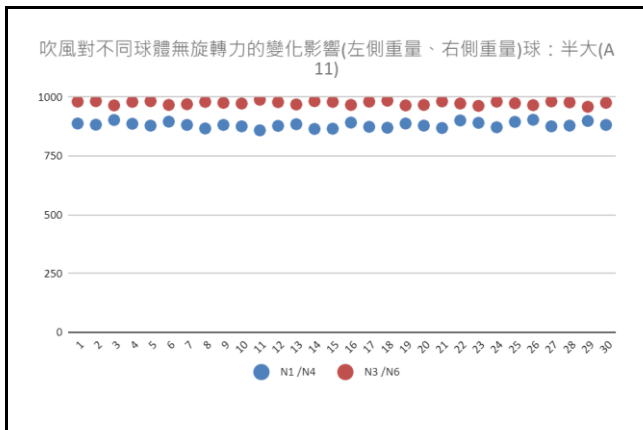


圖 3-11 吹風對不同無旋轉球體的受力
(球：A₁₁)

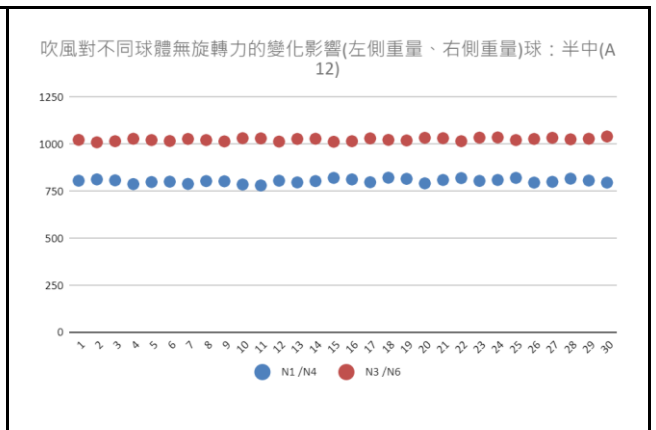


圖 3-12 吹風對不同無旋轉球體的受力
(球：A₁₂)

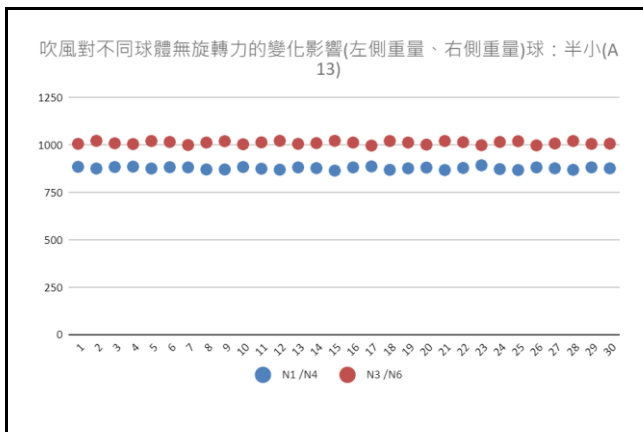
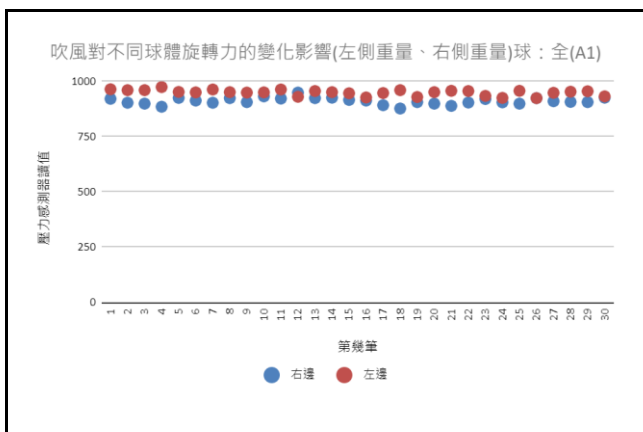
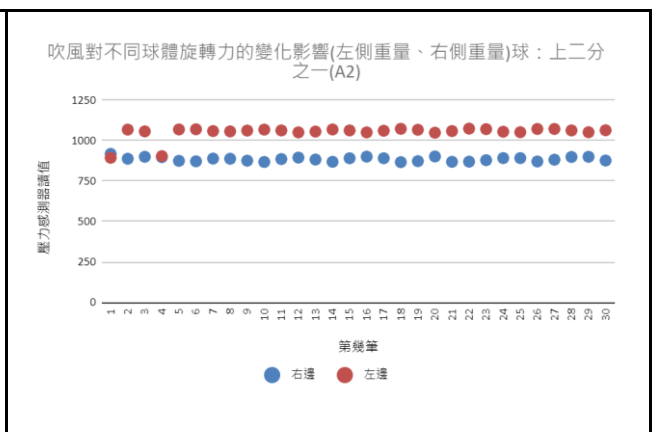


圖 3-13 吹風對不同無旋轉球體的受力
(球：A₁₃)

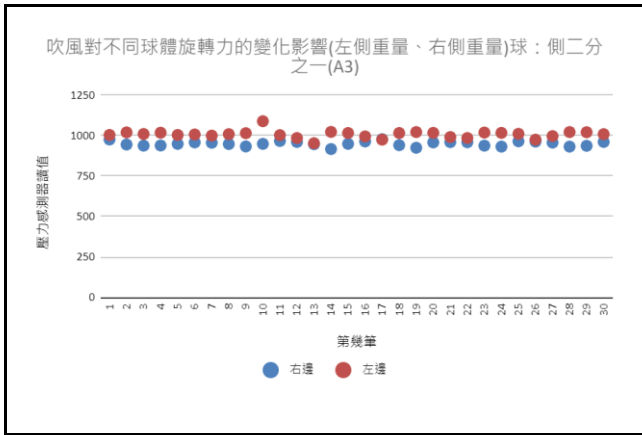
吹風對不同無旋轉球體受力的影響(N3/N6 左側重量、N1/N4 右側重量)



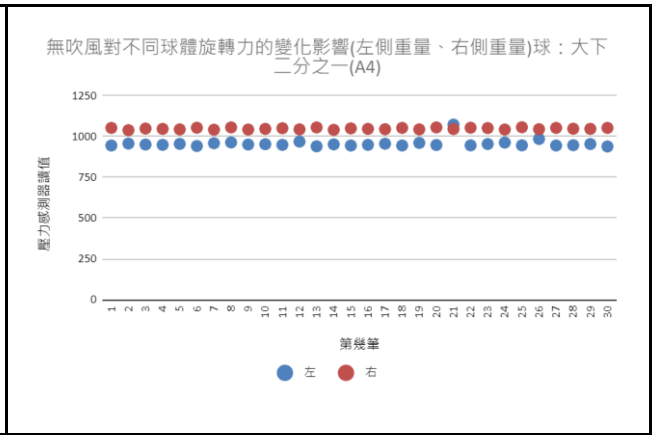
圖表 3-14 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₁)



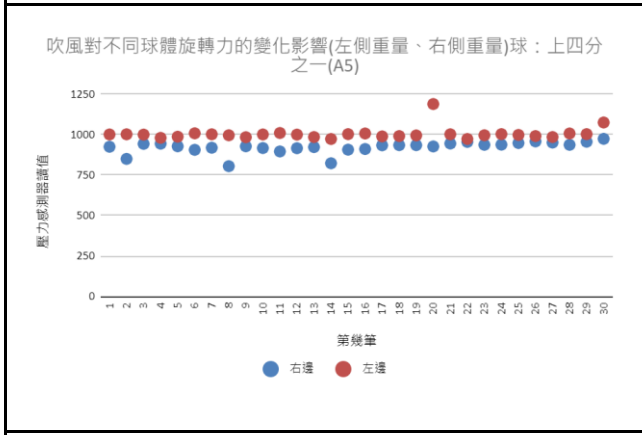
圖表 3-15 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₂)



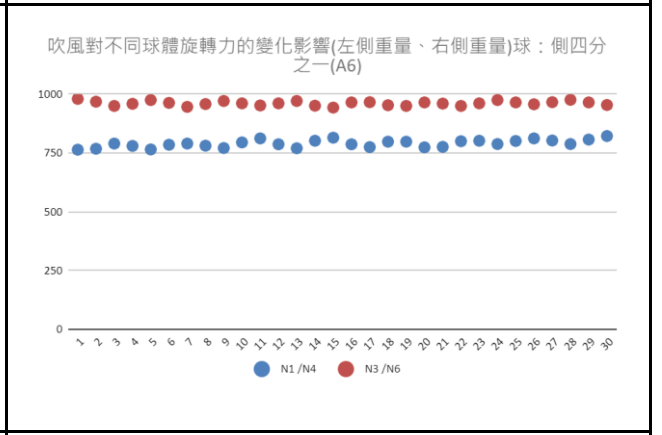
圖表 3-16 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₃)



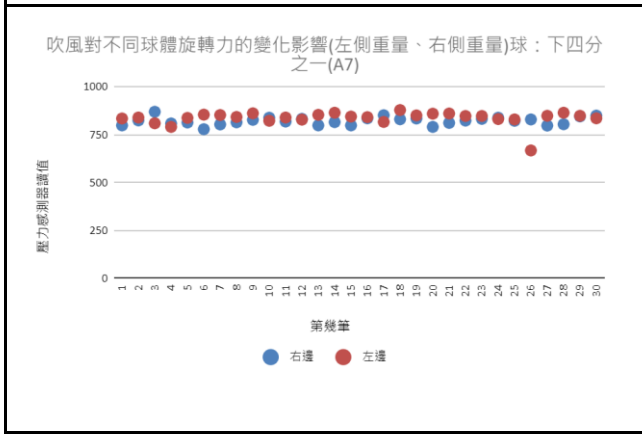
圖表 3-17 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₄)



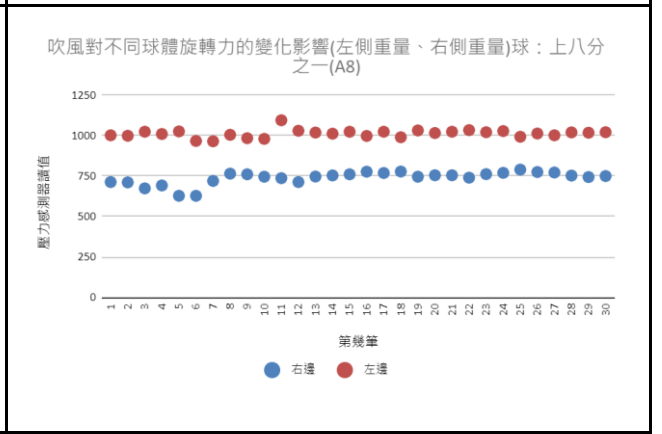
圖表 3-18 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₅)



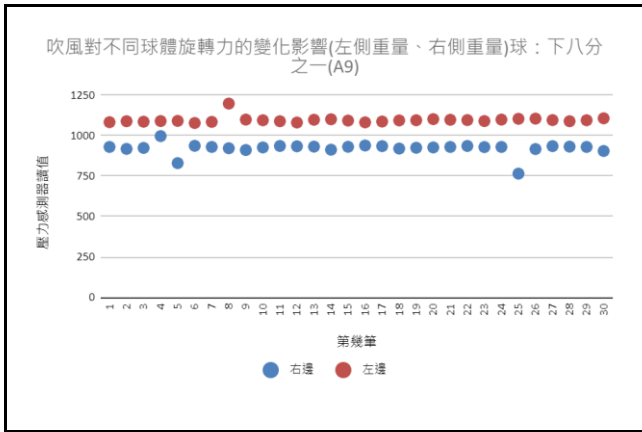
圖表 3-19 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₆)



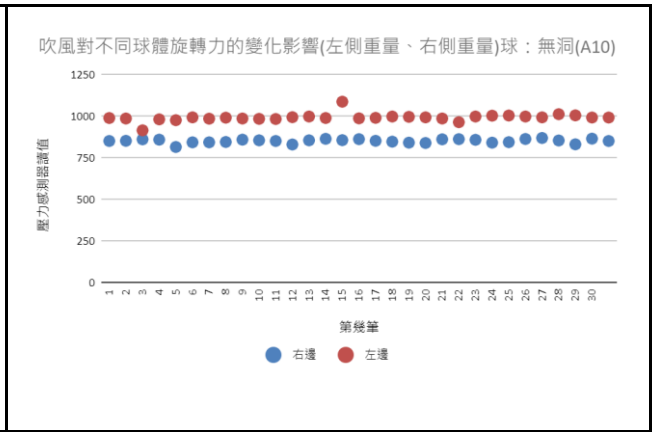
圖表 3-20 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₇)



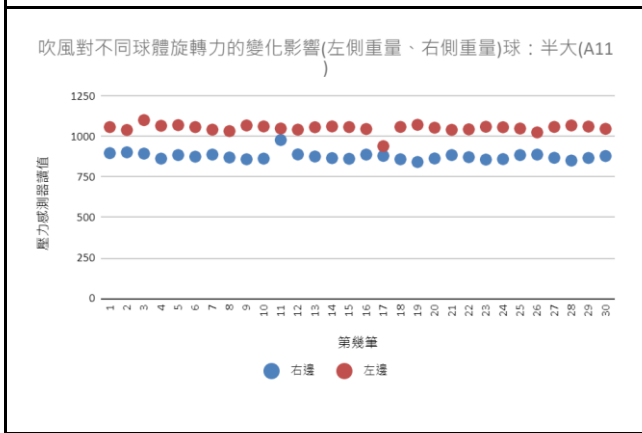
圖表 3-21 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₈)



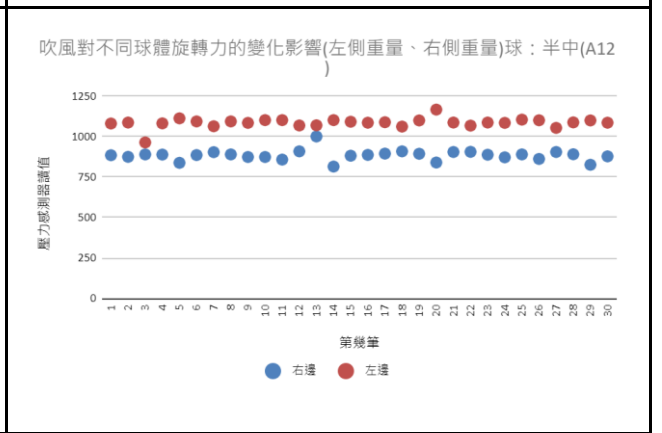
圖表 3-22 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₉)



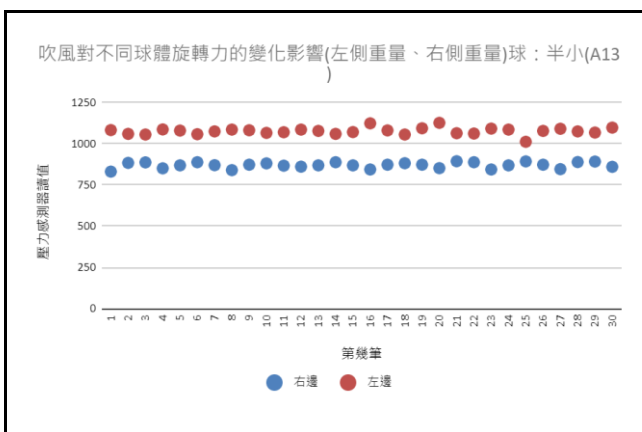
圖表 3-23 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₁₀)



圖表 3-24 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₁₁)



圖表 3-25 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₁₂)



圖表 3-26 吹風對旋轉球體受力影響
(球：A₁₃)

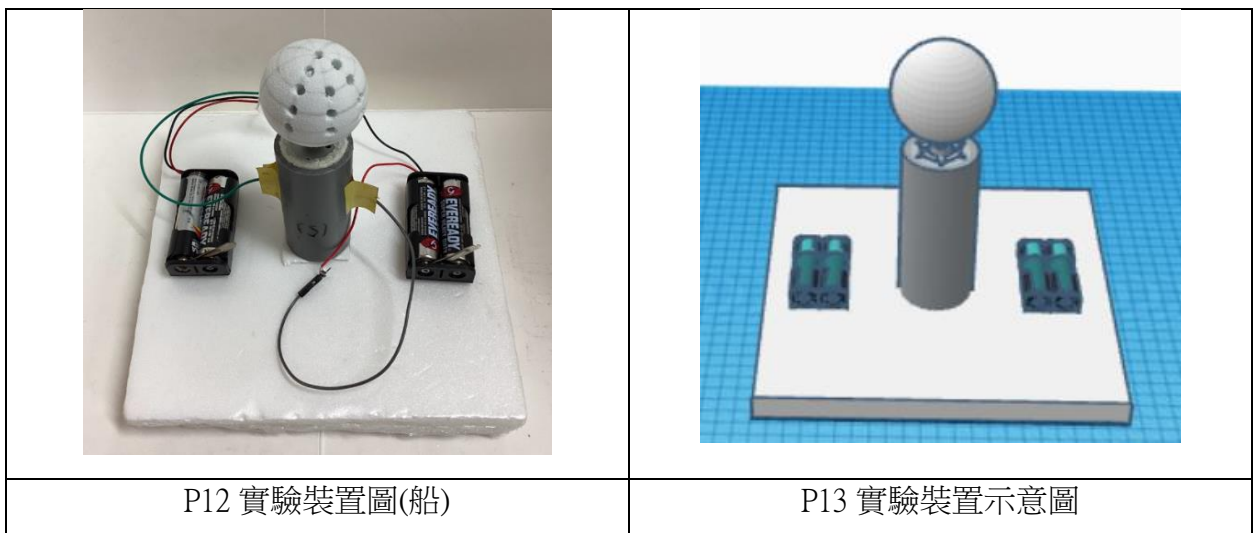
吹風對不同旋轉球體受力的影響(N3/N6 左側重量、N1/N4 右側重量)

討論與分析：

- 1.當球體逆時針旋轉，風向為橫向如 P3-2，球體 n3 與 n6 側旋轉方向與風向相同，風速較快，壓力較小；球體 n1 與 n4 側旋轉方向與風向相反，風速較慢，壓力較大，使球體產生側向力(n1 與 n4 往 n3 與 n6)，所以 n3 與 n6 感測器讀值大於 n1 與 n4，改變物體運動方向，此結果與馬格努斯效應相同。
- 2.當風吹向球體時，球體左側重量和與右側重量和產生規律的上下起伏，壓力感測器讀值總和只有些微變化，總重量保持不變，表示穩定氣流吹向球體，周遭渦流產生週期性變動，使球體的側向力產生變化。
- 3.從圖 3-24 到 3-26 發現，當空洞分布於不同半徑(單一—圈凹洞)，風吹旋轉球體時，周遭氣流產生的側向力沒有太大差別。
- 4.從圖 3-14 到 3-26 發現，風吹球體旋轉時，當球體孔洞分布較多，如 A₁、A₂₋₄、A₅₋₇，孔洞旋轉周圍產生渦流，影響氣流行進及側向力的產生，側向力較不明顯，左側曲線與右側曲線讀值相近，而孔洞較少的 A₈、A₉、A₁₀、A₁₁、A₁₂、A₁₃側向力較大
- 5.從圖 3-1 到 3-13 可以看出，穩定氣流中，沒有旋轉的球體，感測器讀值沒有特別的規律。

實驗四、應用與實作

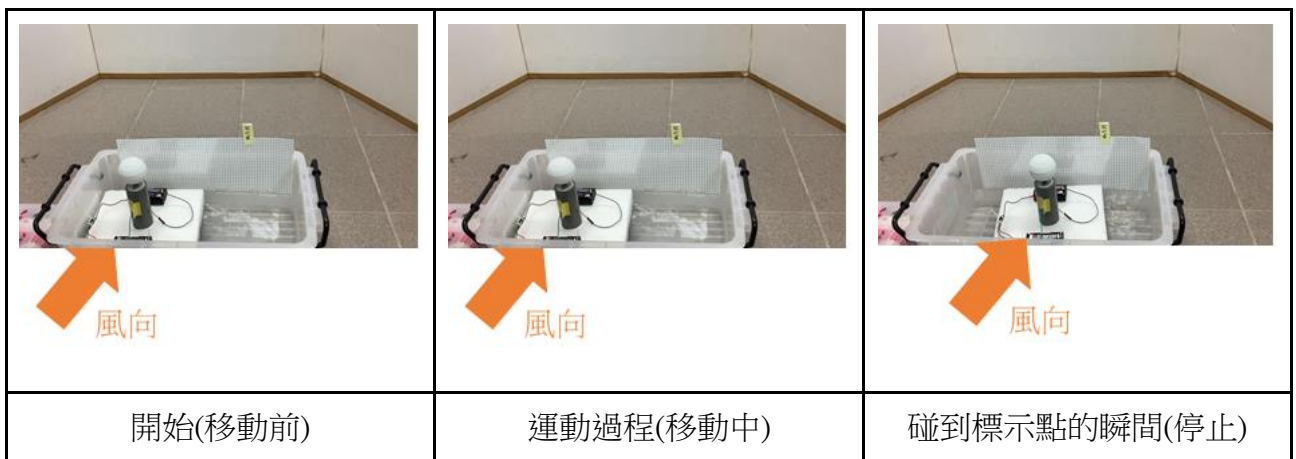
實驗裝置：



實驗四-1 測量吹風對不同球體球體船的移动速度

實驗步驟：

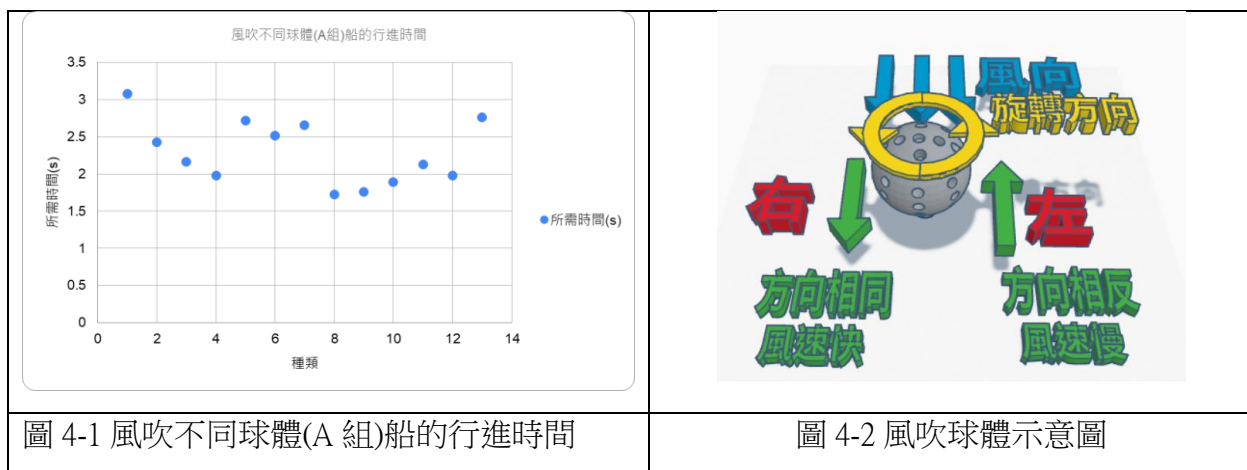
- 1.將 A₁球插於船的馬達轉軸，準備實驗裝置如 P12
- 2.取一盆水，盆子規格長 36cm，寬 22cm，水高約 6.8cm
- 3.將船放在盆中最左側
- 4.把相機打開
- 5.將球體車的電源(6V)打開
- 6.讓風洞與球體船呈垂直，並開啟風扇，將風力調為第三格，並觀察船移動方向
- 7.將影片結果上傳到 Free Video to JPG，利用照片觀察船開始到終點的影格，算出行進時間，並記錄於表 4-1，繪製成圖 4-1
- 8.將球體換成 A₂~A₁₃ 重複步驟 1-7



實驗結果：

種類	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
所需時間(s)	3.08	2.43	2.16	1.98	2.72	2.52	2.66
種類	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	X
所需時間(s)	1.725	1.76	1.89	2.125	1.98	2.76	X

表 4-1 風吹不同球體(A 組)船的行進時間



討論與分析：

- 1.從實驗結果可以看到，當風向與船行進路線呈垂直，球體逆時針旋轉，如圖 4-2，球體左側旋轉方向與風向相反，風速較慢，壓力較大；球體右側旋轉方向與風向相同，風速較快，壓力較小，左側壓力較大，如圖 4-2，產生推力，使船向右行進。
- 2.從圖 3-9 到 3-13 的結果中可發現 A₈、A₉、A₁₁、A₁₂、A₁₃ 的左右重量差異最大，側向力較強，配合表 4-1，可以發現 A₈、A₉、A₁₁、A₁₂、A₁、A₁₀ 行進時間都較短，時間在 1.7 至 2.2 秒之間，而其他球體的側向力較不明顯，故要花較久的時間，大致在 1.9 至 3.1 秒之間。
- 3.旋轉表面有凹洞的球(柱)體可應用於飛行器或是船隻上，透過圓(柱)體旋轉與不同風向的壓力差，讓飛行器或船隻改變行進方向、加速、減少阻力及產生升力等，可減少燃料的消耗，亦可達到環保之目的。

伍、綜合討論

- 一、我們所設計的壓力感測器的原理是分壓電路，透過分壓電路中重量愈大，電阻愈小，其通過的電流愈大，Arduino 接收到的訊號也愈大。
- 二、數位測重裝置 A0(V_{out})讀值於表 1-6 其關係圖如圖 1-6 所示，結果顯示固定電阻 R₂ 為 15k Ω ，當馬達上載重 0~14gw 關係圖顯示不管是各個單一壓力感測器或 n₁~n₆ 的總和結果都能有效區分，固定電阻 R₂ 越大，砝碼加重 0 到 14g 讀值變化量愈大，此數位測重裝置的測重靈敏度越高，方便使用於變化量較小的球體旋轉測量，我們決定用 20k Ω 電阻進行實驗。
- 三、實驗一-2 結果可以看到壓力感測器靈敏度非常高，周遭震動也會影響感測器讀值，在壓力感測器周圍，當有人走動時，數據有明顯的跳動。

- 四、從實驗二結果可以看到自製壓力感測器測重裝置穩定度優於電子秤，當馬達轉速上升，壓力感測器讀值會下降，可知當馬達旋轉，重量下降，壓力感測器阻值變大，R1、R2 總電阻值變大，使讀值變小。因此我們決定使用壓力感測器進行之後的實驗。
- 五、球體表面孔洞會影響球體旋轉重量變化，從表 2-1 可以看到當球體無洞時，旋轉時感測器讀值減少約 20，重量減輕；當球體表面布滿孔洞，旋轉時感測器讀值增加約 50，重量變重。
- 六、我們發現小洞球的旋轉後變化量較無規律，可能是因為單一孔洞面積過小，只占球體的，而大洞占，我們結果顯示單一孔洞面積至少要求體表面積的，才能使孔洞對渦流造成影響，因此，我們之後的實驗選擇大洞球。
- 七、當風經過旋轉物體時，旋轉方向與風向相同處風速較快，壓力較小；旋轉方向與風向相反處風速較慢，壓力較大，使物體產生側向力(從壓力大往壓力小)，此方法可利用於物體的前進。

陸、結論

- 一、壓力感測器下方重量愈大，感測器讀值愈大，電阻 R2 阻值越大，讀值 A0 在同重量差下變化愈大，結果 20k Ω 水泥電阻變化量最大，以 20K Ω 水泥電阻 0-1000g 數據，物體重量平均每增加 100g，感測器讀值增加 48.43。
- 二、電子秤測量旋轉物體重量變化較不穩定，自製壓力感測器測重結果較為精確。
- 三、孔洞會影響球體旋轉的重量變化。當球體無洞時旋轉重量下降，讀值變化量-22.57，當整顆球體被打洞時，球體旋轉重量會上升，讀值變化量 48.16。當孔洞分布於球體下方，球體旋轉重量上升；當孔洞分布於球體上方，球體旋轉重量下降。
- 四、球體孔洞會影響氣流經過，當左側旋轉方向與風向相同，風速較快，壓力較小；右側旋轉方向與風向相反，風速較慢，壓力較大，使球體產生側向力，當分布孔洞較多，旋轉產生渦流，影響氣流的行進，側向力會受到干擾，因而數值較小；當分布孔洞較少，旋轉產生渦流較少，側向力較強，左右重量差變大。
- 五、可將旋轉表面有凹洞的球(柱)體應用於飛行器或是船隻上，透過圓(柱)體旋轉與不同風向的壓力差，讓飛行器或船隻改變行進方向、加速、減少阻力及產生升力等，可減少燃料的消耗，亦可達到環保之目的。

柒、參考資料及其他

一、利用圓柱體轉動前進的交通工具：一根轉動的圓筒能有什麼用？可以用它來代替機翼、船帆

http://www.360doc.com/content/20/0412/22/3059286_905559406.shtml

二、流體力學拾趣。周鑑恆教授著。

三、康達效應知識取自：維基百科 寬德效應

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%AF%AC%E5%CE%C7%E6%95%88%E6%87%89>

四、瑪格努斯效應

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A9%AC%E6%A0%CC%E5%8A%AA%E6%96%AF%E6%95%88%E5%CA%94>

A%94

五、中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 國小組 生活(二) 旋轉陀螺-空中 Ubyke

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-082905.pdf?173>

六、白努利定律

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%CC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%CE%8C>

七、為什麼高爾夫球表面凹凸不平？淺談高爾夫球原理！

<https://www.techchickensoup.com/technology/golf-aerodynamics-intro/>