

# 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080105

風兒圓舞曲--風力環轉動之研究

學校名稱：嘉義市東區崇文國民小學

作者： 小五 王嗣方 小五 郭釋維	指導老師： 葉姝瑜 呂詠茜
-------------------------	---------------------

關鍵詞：風力環、旋轉、角度

## 摘要

本研究在探討影響風力環轉動的因素有哪些，我們發現影響因素有：(1)風力環紙盤內翻摺紙面方向、數量、角度和形狀、翻摺線與圓心距離、紙盤外形。(2)出風管口與紙面的距離。(3)竹籤插入紙盤的深度。要製作一個轉動效果好的風力環，紙盤外形以圓形為主，其紙面要向內翻摺，紙面翻摺線與圓心要有角度。紙面翻摺形狀以直角三角形 B 的旋轉效果佳，其翻摺線與圓心距離為 1.7 cm 的轉速最快。出風管口與紙面的距離為 1.5 cm 及竹籤插入紙盤的深度為 3.5 cm 者，能讓風力環的旋轉的穩定性更好。透過彩繪可以將風力環變得更美麗，也能做為趣味競賽的活動呢！

## 壹、研究動機

下課時，老師看到同學們在玩紙陀螺的遊戲，老師便和我們分享用吸管也可以玩陀螺的方法，原來老師介紹的是「科學遊戲實驗室」裡的風力環。於是，我們利用課餘來做，才發現做一個輕鬆吹氣便可以美麗且穩定旋轉的風力環，可不是那麼簡單的。

剛好對科展有興趣的我們正在思考要以什麼為主題，於是我們決定就以風力環成為我們這次科展的題目！

◎ 作品與教材應用的相關性：

1. 康軒版自然與生活科技 第一冊 第三單元 看不見的空氣
2. 康軒版自然與生活科技 第五冊 第四單元 力與運動
3. 康軒版自然與生活科技 第八冊 第四單元 簡單機械

## 貳、 研究目的

- 一、 探討紙面的不同翻摺方向對風力環的影響
- 二、 探討紙盤與出風管口距離對風力環旋轉的影響
- 三、 探討翻摺紙面數量對風力環旋轉的影響
- 四、 探討翻摺紙面與圓心角度對風力環旋轉的影響
- 五、 探討翻摺紙面形狀對風力環旋轉的影響
- 六、 探討不同外形的紙盤對風力環旋轉的影響
- 七、 探討翻摺紙面與圓心距離對風力環旋轉的影響
- 八、 探討竹籤插入紙盤的不同深度對風力環旋轉的影響
- 九、 彩繪風力環增加趣味性

## 參、 研究設備及器材

西卡紙、圓規刀、切割墊、美工刀、量角器、直尺、竹籤（長 10cm 直徑 0.2cm）、透明軟管（內徑 6.4mm）、漏斗、相機腳架、吹風機（具有冷風功能）、智高積木、測轉速計（DIGITAL TACHOMETER DT-2234A）、測風速計（HANLIN-FGM816）。

## 肆、 研究過程

### 一、文獻探討

我們收集相關的研究資料發現在《玩出創意 3》及台中教育大學『科學實驗室』網站有相關的內容，其原理如下：

風力環能旋轉，主要是因為由吸管吹進去的氣流，由紙面流出來後，推動了風力環上的紙片（如圖 1.）。因此，只要紙面上設計能導引氣流的構造，也就是受風面積越大（紙面與圓心要有角度），就可以讓風力環旋轉速度越快。

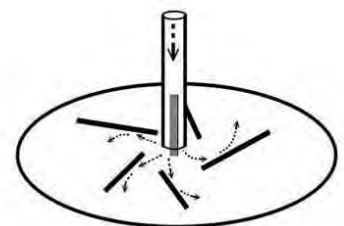


圖1.風推動風力環上紙片的示意圖

## 二、研究架構

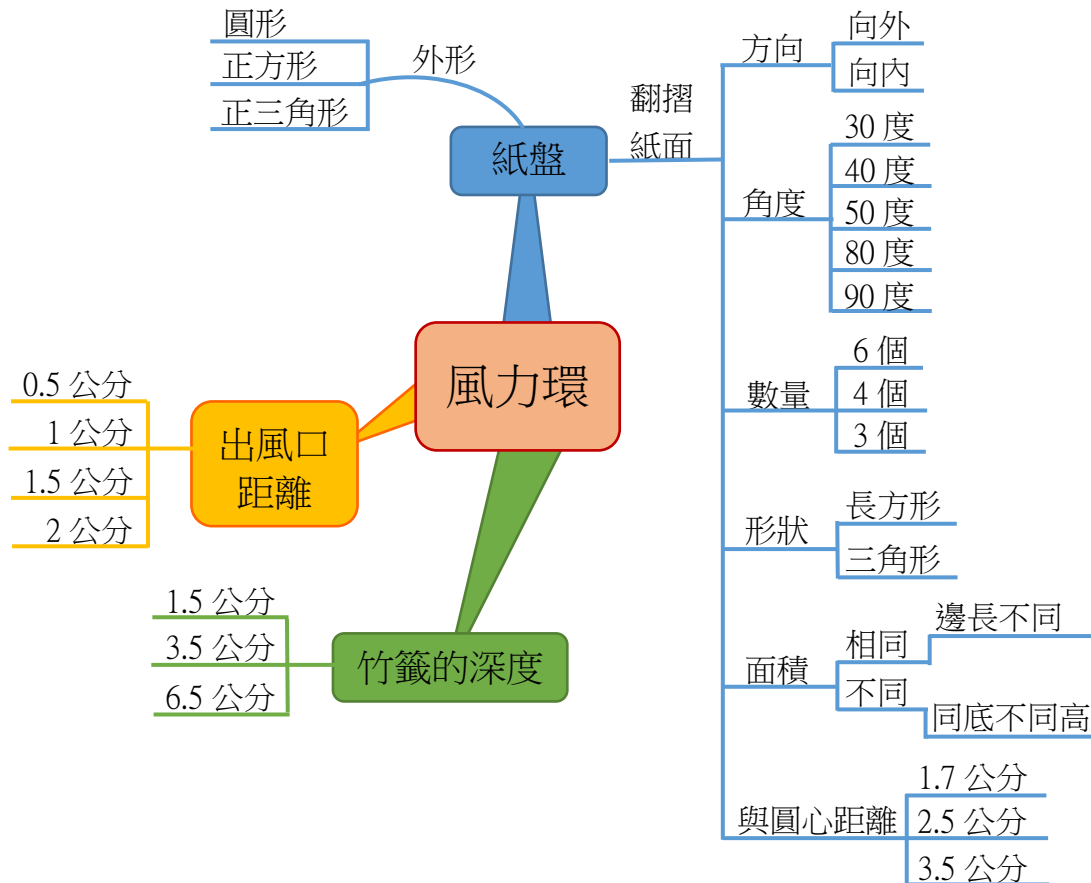


圖 2.研究架構圖

## 三、風力環的製作設計過程

### (一) 風力環的主體

#### 1. 紙盤大小：

圖 3.為文獻中參考的圖形，由於我們想試驗不同的翻摺形狀及角度，考量風力環太小則不易割開及翻摺，所以選定半徑 5cm 的圓形紙；又因牙籤較為細短，與半徑 5cm 圓形紙的不成比例，故改以 10cm 的竹籤代替牙籤。

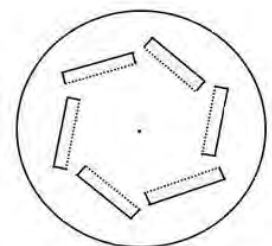


圖3.文獻參考圖

#### 2. 翻摺紙面與圓心的角度：

指的是翻摺線和翻摺線中點到圓心的連線夾角(如圖 4.)；作法為翻摺線與半徑重疊，以翻摺線的中心點當作圓心，順時針方向旋轉的度數，即為實驗角度。



圖4.翻摺紙面與圓心的角度示意圖

## (二) 竹籤

1. 挑選：竹籤的重量會影響風力環轉動的速度，所以使用電子秤挑選重量相同且筆直的竹籤進行試驗。
2. 插入位置：紙面的中心點。
3. 插入深度：因竹籤前端較尖細，所以插入深度至少為 1.5cm（如圖 5.）。

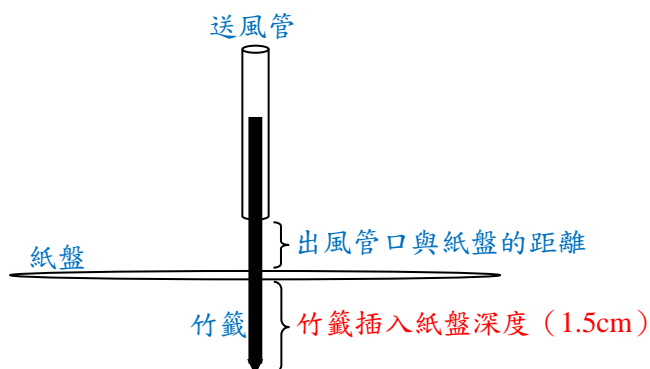


圖 5.竹籤插入紙盤深度示意圖

## (三) 送風裝置

文獻中是以口對吸管吹氣來吹動風力環，由於實驗進行需固定風量，所以使用有冷風功能的吹風機代替口吹氣；使用透明軟管取代吸管，並在軟管前端接上漏斗，以便於罩住吹風機的吹口。

固定軟管的支架原先是利用相機腳架與鞋架來組合（第一代支架，如圖 6a.），軟管另一端與一根硬塑膠棍固定在一起，以保持垂直向下。但在放置與使用測轉速計上並不方便，為了減少實驗誤差，我們改使用智高積木來製作，也拼組了固定轉速計的位置（第二代支架，如圖 6b.）。

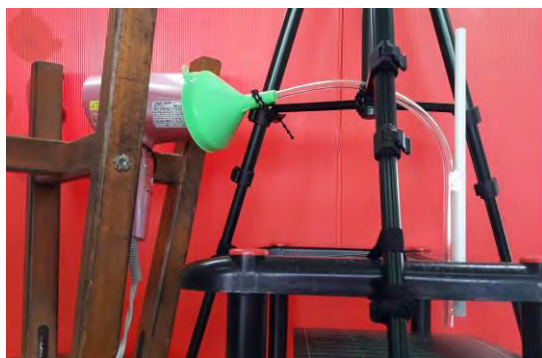


圖 6a.



圖 6b.

#### (四) 風速設定

1. 實驗皆使用吹風機上的最低速，冷風經由軟管輸出後，以風速計測得的平均風速為 3.1m/s（如圖 7a.）。
2. 竹籤上半部在送風管中的風速測量（如圖 7b.）。



圖7a.



圖7b.

#### (五)轉速計操作

將反光貼紙(0.9cm x1.2 cm)大小貼於紙盤圓周的最外緣，按下按鈕，開啟轉速計電源。將紅光（點）投射在反光貼紙上，再按按鈕開始轉速測量，而轉速讀值將顯示於 LCD 上（如圖8.）。



圖8.轉速測量

### 四、研究內容

#### 研究一、探討紙面的不同翻摺方向對風力環的影響

##### (一) 實驗說明：

從文獻探討中，我們發現了紙盤內翻摺紙面的方向有向內朝圓心翻摺，也有向外翻摺，所以我們想先了解哪一種翻摺方向，較有利於風力環的旋轉？

##### (二) 實驗步驟：

1. 在西卡紙上剪下半徑 5cm 的圓形，圓內等距畫下 6 個長方形；長方形 A（長 2.4cm、寬 0.5cm）的翻摺線中心點與圓心距離為 2.5cm，而與圓心的角度為 80 度（圖 9a.、10a.）。
2. 用美工刀將圖形的紅線割開，藍線則朝上翻摺，並用 20 本自然習作(100g/本)上壓 3 分鐘後再拿開（圖 9b.、10b.）。
3. 將竹籤插入紙盤的中心點，插入深度為 1.5cm，即完成了風力環（圖 11a-②）。
4. 將風力環放置於送風裝置下方，出風管口與紙面距離為 0.5cm（圖 11a-①），開啟吹風機給予送風。
5. 使用轉速計，等待 10 秒後開始記錄轉動數據，每個風力環測量三次每次 1 分鐘，再將三次測得數據求平均值。

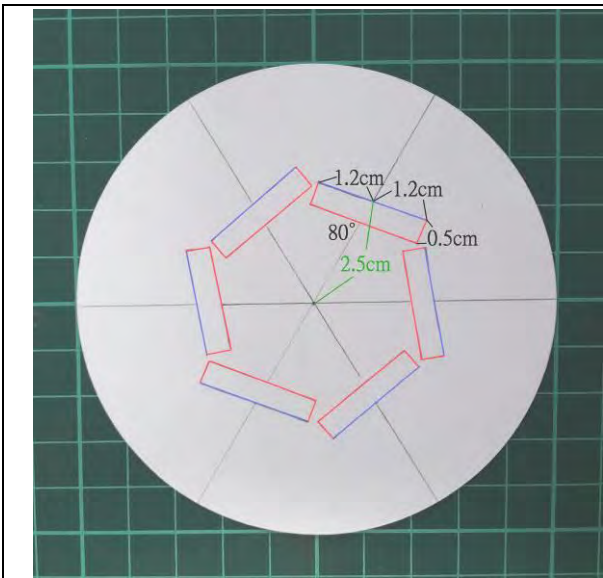


圖 9a.：六個長方形 A（向外翻摺-構圖）

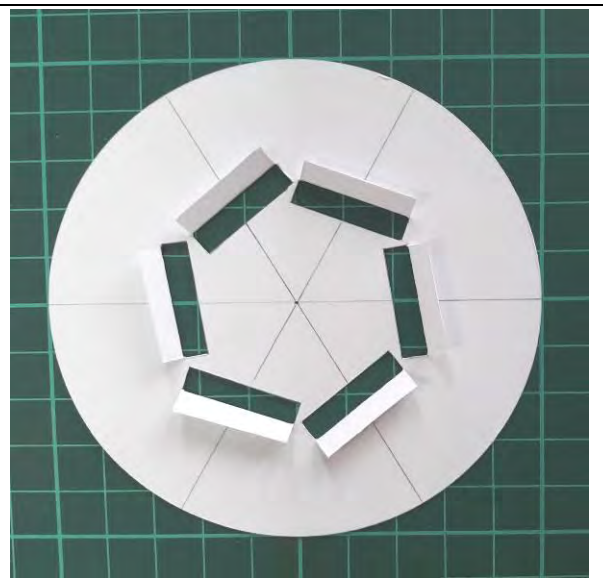


圖 9b.：六個長方形 A（向外翻摺-展開圖）

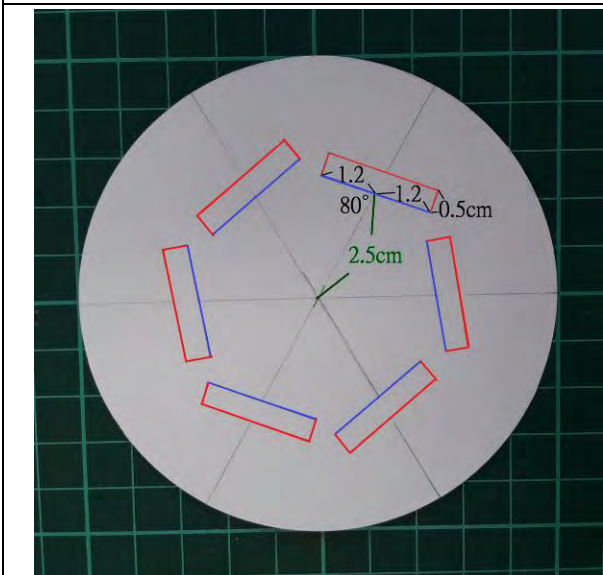


圖 10a.六個長方形 A（向內翻摺-構圖）

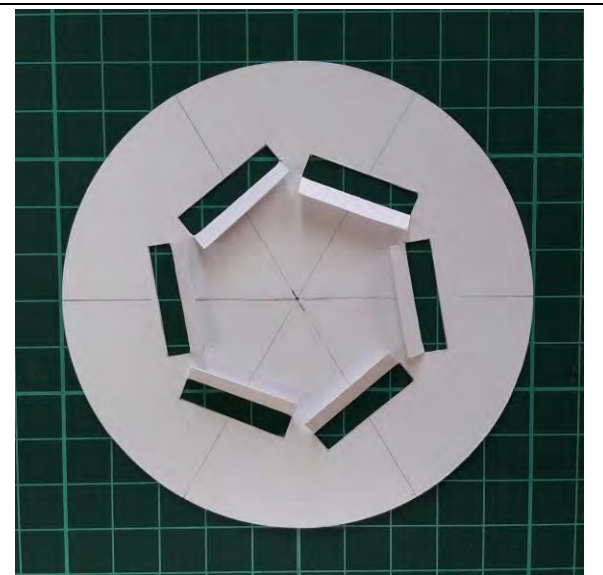


圖 10b.六個長方形 A（向內翻摺-展開圖）

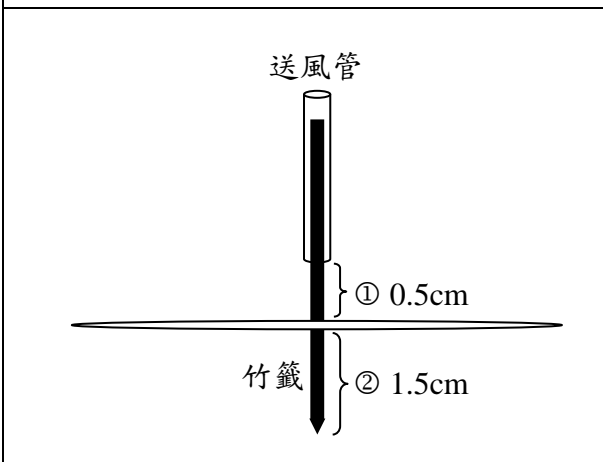


圖 11a.出風管口與紙盤距離的示意圖

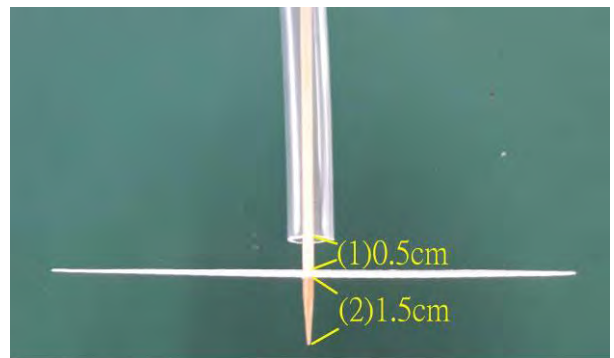


圖 11b.出風管口與紙盤距離

(三) 實驗結果：

表 1.紙面(長方形 A)的不同翻摺方向對風力環的影響

翻摺方向	向外翻摺	向內翻摺
平均轉速 (rpm)	15.5	49.1
最大轉速 (rpm)	32.1	80.6
最小轉速 (rpm)	0.0	19.3
全距 (rpm)	32.1	61.3
標準差	10.9	17.5

◎註 1：無法持續旋者（即最小值為 0）。

◎註 2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

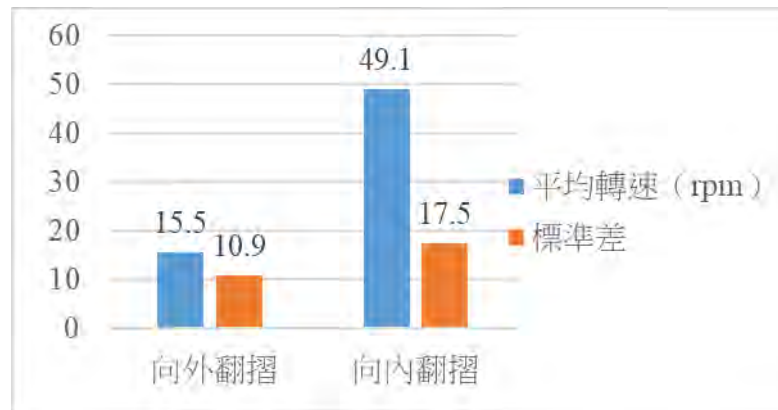


圖 12：紙面(長方形 A)的不同翻摺方向對風力環影響

(四) 實驗討論：

1. 實驗中觀察到二種風力環的旋轉方向皆為逆時針。
2. 從實驗結果中，我們得到向內翻摺的紙面旋轉速度比向外翻摺的快。
3. 雖然紙面向內翻摺的轉速數值標準差較大，但它能持續旋轉；而紙面向外翻摺的標準差較小，但由於它的最小值為 0，表示曾停下後再重新轉動，所以我們選用紙面向內翻摺的作為往後實驗的設定條件。
4. 我們想要改變出風管口與紙盤的距離，了解是否也會影響風力環的轉動？



## 研究二、探討紙盤與出風管口距離對風力環旋轉的影響

### (一) 實驗步驟：

1. 製作 4 個同【研究一】向內翻摺的風力環（圖 10b.）。
2. 將風力環放置於送風裝置下方，出風管口與紙盤距離（如圖 13）分別為 1cm、1.5cm、2cm。
3. 開啟吹風機給予送風。
4. 使用轉速計，等待 10 秒後開始記錄轉動數據，每個風力環測量三次每次 1 分鐘，再將三次測得數據求平均值。

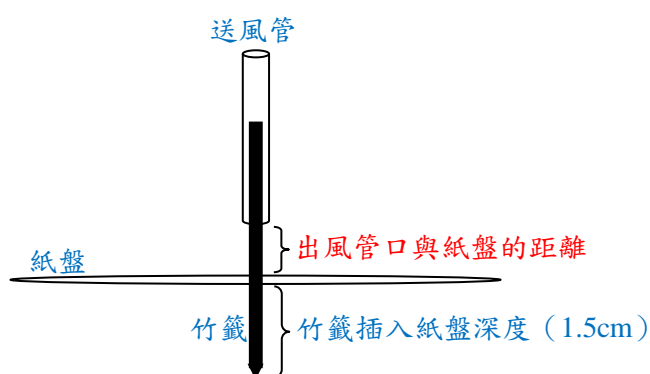


圖 13.出風管口與紙盤距離的示意圖

### (二) 實驗結果：

表 2.紙盤與出風管口距離對風力環旋轉的影響

紙面與出風管口距離	1cm	1.5cm	2cm
平均轉速 (rpm)	49.9	49.1	24.4
最大轉速 (rpm)	83.2	80.6	43.4
最小轉速 (rpm)	19.3	19.3	8.2
全距 (rpm)	63.9	61.3	35.2
標準差	17.7	17.5	8.3

◎註 1：紙盤與出風管口距離為 1.5 cm 數據是取自表 1-向內翻摺。

◎註 2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

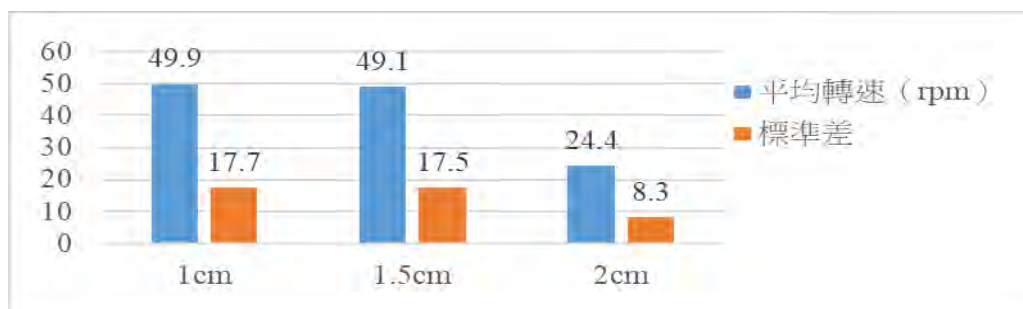


圖 14：紙盤與出風管口距離對風力環旋轉影響

### (三) 實驗討論：

1. 從實驗結果得知，風力環旋轉速度以紙盤與出風管口的距離為  $1\text{cm} > 1.5\text{cm} > 2\text{cm}$ 。
2. 雖然出風管口與紙盤距離  $1\text{cm}$  的轉速大於  $1.5\text{cm}$ ，但差異不大，而距離  $1.5\text{cm}$  的全距與標準差均小於  $1\text{cm}$  距離，所以我們選擇以距離  $1.5\text{cm}$  為主，作為之後實驗的設定值。

### 研究三、探討紙面翻摺數量對風力環旋轉的影響

#### (一) 實驗步驟：

1. 在西卡紙上剪下半徑  $5\text{cm}$  的圓形，分別在不同圓內等距畫下四個、三個長方形 A；長方形 A 的翻摺線中心點皆與圓心距離為  $2.5\text{cm}$ ，與圓心的角度為  $80$  度（圖 15a、16b）。
2. 用美工刀將圖形的紅線割開，藍線則朝上翻摺，並用 20 本自然習作(100g/本)上壓 3 分鐘後再拿開（圖 15b、16b）。
3. 將竹籤插入紙盤的中心點，插入深度為  $1.5\text{cm}$ ，即完成了風力環。
4. 將風力環放置於送風裝置下方，出風管口與紙面距離為  $1.5\text{cm}$ ，開啟吹風機給予送風。
5. 使用轉速計，等待 10 秒後開始記錄轉動數據，每個風力環測量三次每次 1 分鐘，再將三次測得數據求平均值。

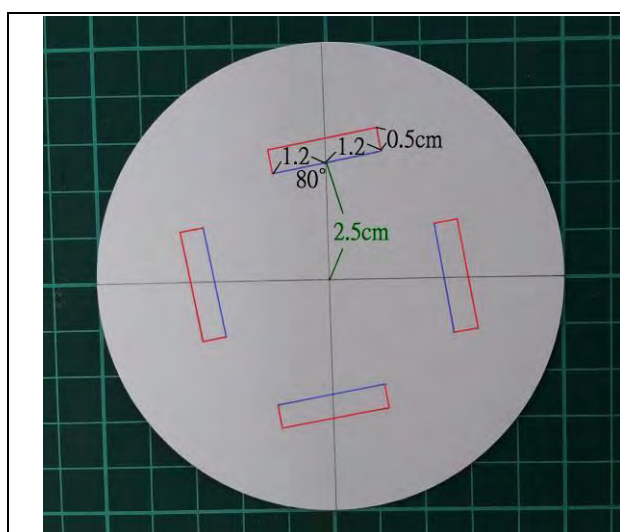


圖 15a.四個長方形 A（向內翻摺-構圖）

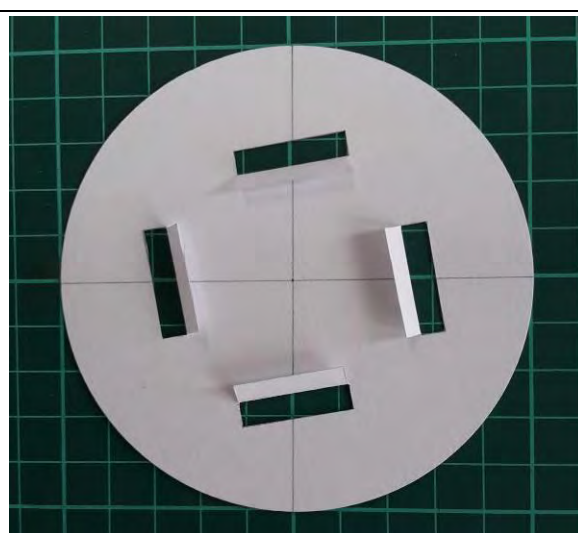


圖 15b.四個長方形 A（向內翻摺-展開圖）

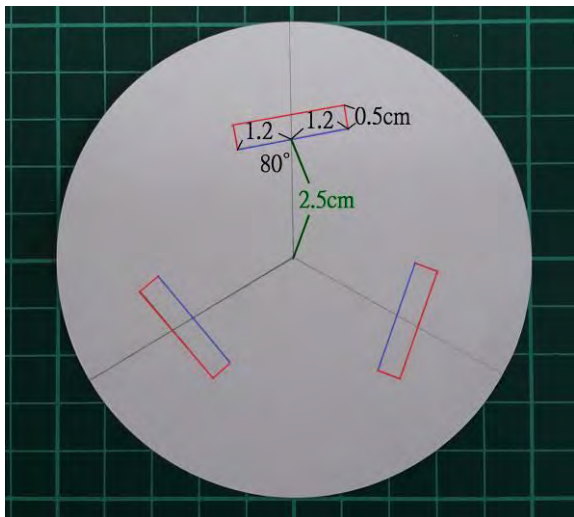


圖 16a.三個長方形 A (向內翻摺-構圖)



圖 16b.三個長方形 A (向內翻摺-展開圖)

(二) 實驗結果：

表 3.翻摺紙面數量對風力環旋轉的影響

翻摺紙面數量	六個	四個	三個
平均轉速 (rpm)	49.1	3.4	10.2
最大轉速 (rpm)	80.6	69.5	47.6
最小轉速 (rpm)	19.3	0.0	0.0
全距 (rpm)	61.3	69.5	47.6
標準差	17.5	10.4	15.0

◎註 1：翻摺數量六個的數據是取自表 1-長方形 A (向內翻摺)。

◎註 2：無法持續旋轉者 (即最小值為 0)。

◎註 3：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

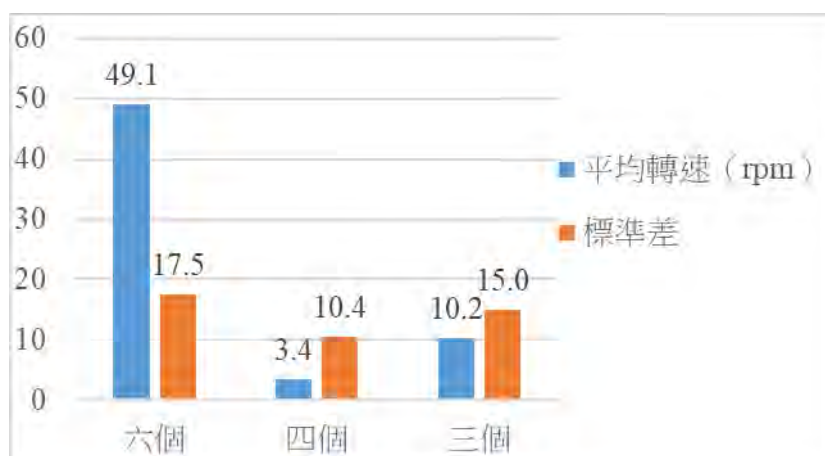


圖 17：翻摺紙面數量對風力環旋轉的影響

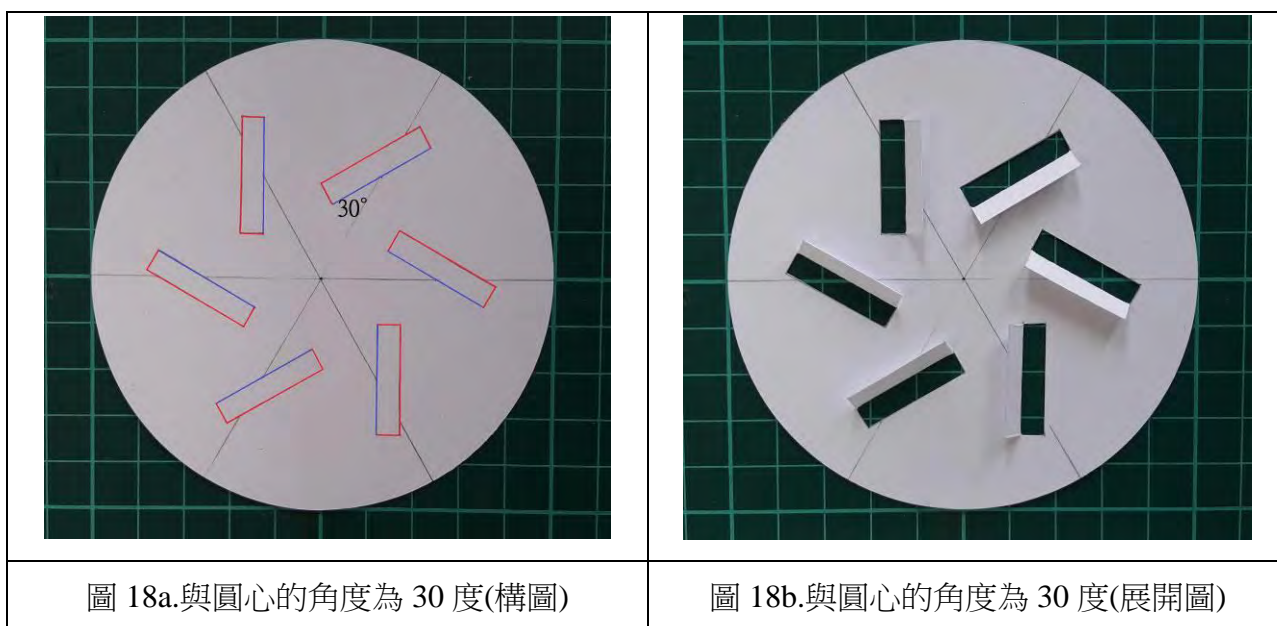
### (三) 實驗討論：

1. 實驗結果得知，以六個向內翻摺紙面的風力環旋轉最快。
2. 三個及四個向內翻摺紙面的風力環雖有轉動，但轉轉停停，甚至不轉動了。
3. 雖然六個向內翻摺紙面的標準差較大，但我們以能持續旋轉者為主，做為往後實驗的翻摺紙面設定個數。

### 研究四、探討翻摺紙面與圓心角度對風力環旋轉的影響

#### (一) 實驗步驟：

1. 在西卡紙上剪下半徑 5cm 的圓形，圓內等距畫下 6 個長方形 A；長方形 A 的翻摺線中心點與圓心距離為 2.5cm，而與圓心的角度分別為 30 度、40 度、50 度、90 度、110 度（圖 18a、19a、20a、21a。）。
2. 用美工刀將圖形的紅線割開，藍線則朝上翻摺，並用 20 本自然習作(100g/本)上壓 3 分鐘後再拿開（圖 18b、19b、20b、21b。）。
3. 將竹籤插入紙盤的中心點，插入深度為 1.5cm，即完成了風力環。
4. 將風力環放置於送風裝置下方，出風管口與紙面距離為 1.5cm，開啟吹風機給予送風。
5. 使用轉速計，等待 10 秒後開始記錄轉動數據，每個風力環測量三次每次 1 分鐘，再將三次測得數據求平均值。



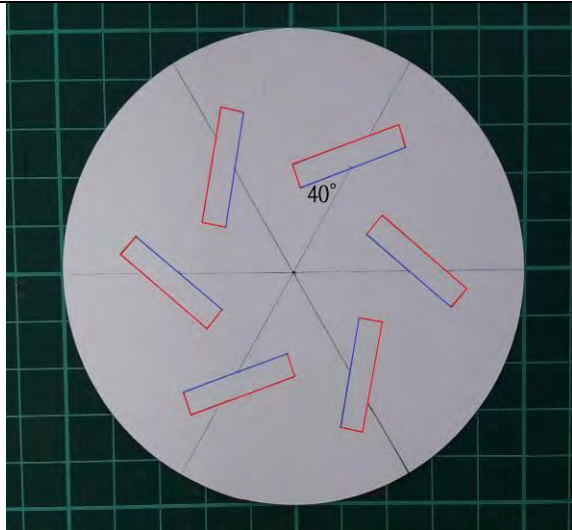


圖 19a.與圓心的角度為 40 度-構圖

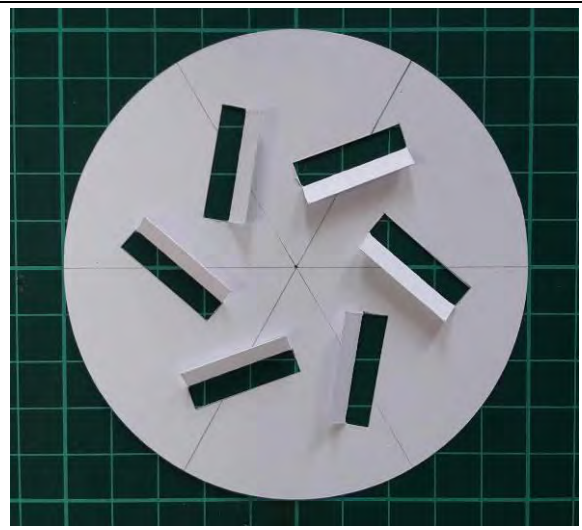


圖 19b.與圓心的角度為 40 度-展開圖

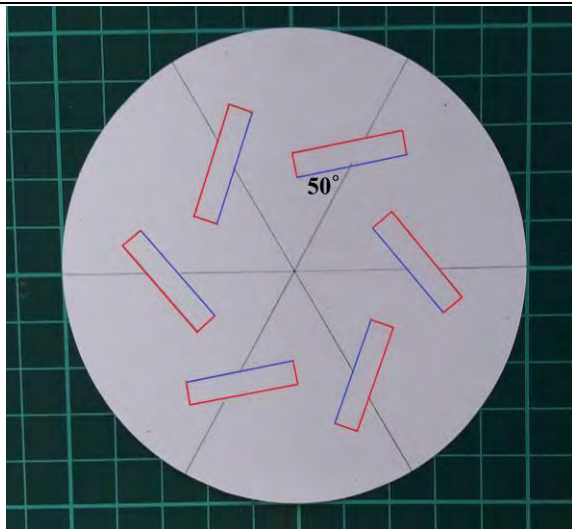


圖 20a.與圓心的角度為 50 度(構圖)

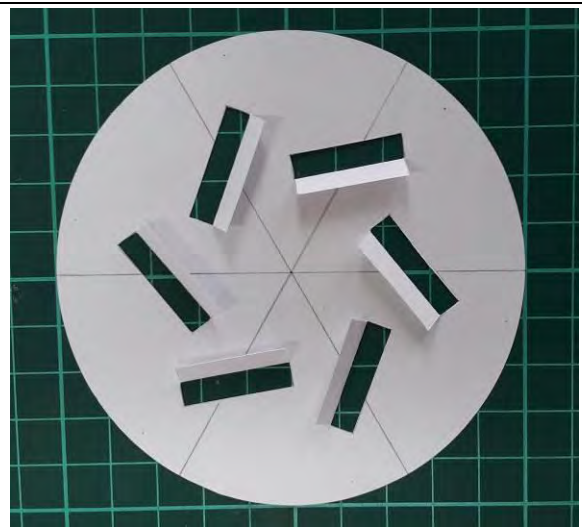


圖 20b.與圓心的角度為 50 度(展開圖)

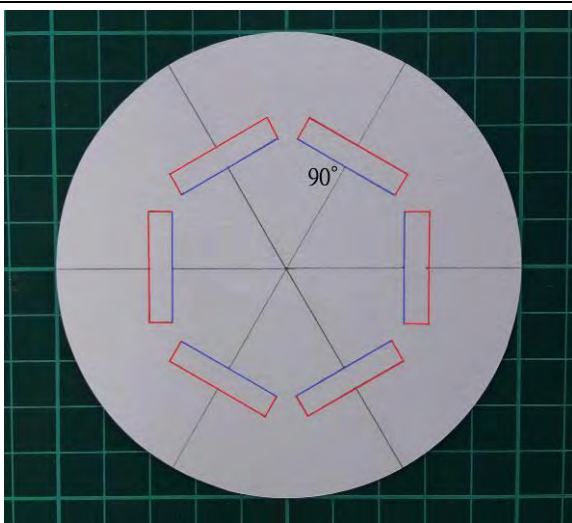


圖 21a.與圓心的角度為 90 度(構圖)

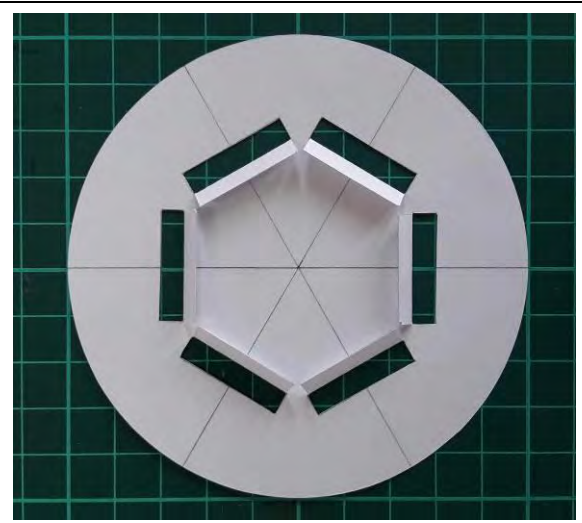


圖 21b.與圓心的角度為 90 度(展開圖)

(二)實驗結果：

表 4.翻摺紙面與圓心角度對風力環旋轉的影響

與圓心角度	30 度	40 度	50 度	80 度	90 度
平均轉速 (rpm)	58.9	121.2	101.8	49.1	0.0
最大轉速 (rpm)	78.2	138.9	121.5	80.6	0.0
最小轉速 (rpm)	32.0	109.9	81.7	19.3	0.0
全距 (rpm)	46.2	29.0	39.8	61.3	0.0
標準差	9.8	7.6	10.9	17.5	0.0

◎註 1：紙面翻摺角度 80 度的數據是取自表 1-長方形 A（向內翻摺）。

◎註 2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

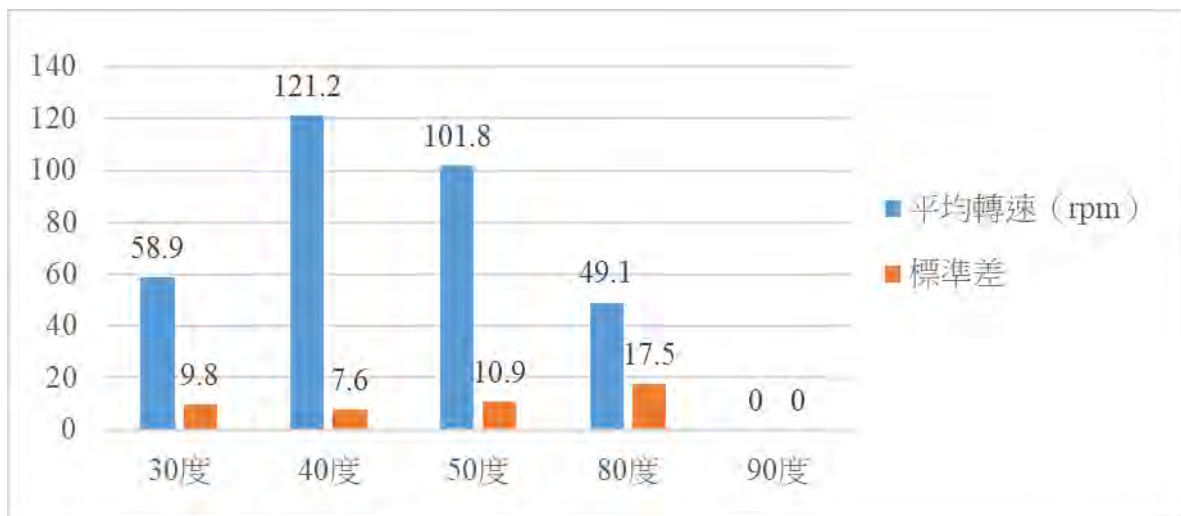


圖 22：翻摺紙面與圓心角度對風力環旋轉的影響

(三) 實驗討論：

1. 從實驗結果發現，風力環旋轉情形以翻摺紙面與圓心角度為 40 度的平均轉速最快（121.2 rpm），也最穩定（標準差最小）。
2. 翻摺紙面與圓心角度呈 30 度、40 度、50 度、80 度者，風力環的旋轉方向皆為逆時針。
3. 翻摺紙面與圓心的角度呈 90 度者，風力環是無法轉動。
4. 若改變翻摺紙面的形狀是否也會影響風力環的轉動？我們以翻摺紙面與圓心角度為 40 度來做進一步的實驗。

## 研究五、探討翻摺紙面的形狀對風力環旋轉的影響

### 子題一：等面積不同形狀的翻摺紙面

#### (一) 實驗說明：

為了試驗哪一種翻摺紙面形狀可以讓風力環轉動快且穩定性佳，所以我們設計了與長方形 A 等面積的直角三角形。

#### (二) 實驗步驟：

1. 在西卡紙上剪下半徑 5cm 的圓形，分別在不同圓內等距畫下 6 個直角三角形 A (底 2.4 cm，高 1 cm) (圖 23a.)、B (底 2.4 cm，高 1 cm) (圖 24a.)、C (底 3.2 cm，高 0.75 cm) (圖 25a.)、D (底 4.8 cm，高 0.5 cm) (圖 26a.)，其翻摺線中心點與圓心距離為 2.5cm，而與圓心的角度分別為 40 度。
2. 用美工刀將圖形的紅線割開，藍線則朝上翻摺，並用 20 本自然習作(100g/本)上壓 3 分鐘後再拿開 (圖 23b.、24b.、25b.、26b.)。
3. 將竹籤插入紙盤的中心點，插入深度為 1.5cm，即完成了風力環。
4. 將風力環放置於送風裝置下方，出風管口與紙面距離為 1.5cm，開啟吹風機給予送風。
5. 使用轉速計，等待 10 秒後開始記錄轉動數據，每個風力環測量三次每次 1 分鐘，再將三次測得數據求平均值。

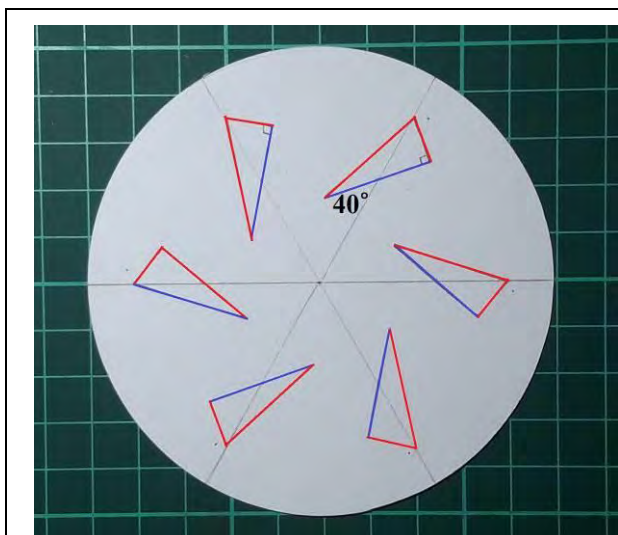


圖 23a. 直角三角形 A (底 2.4 cm，高 1 cm)  
(高-遠離圓心的構圖)

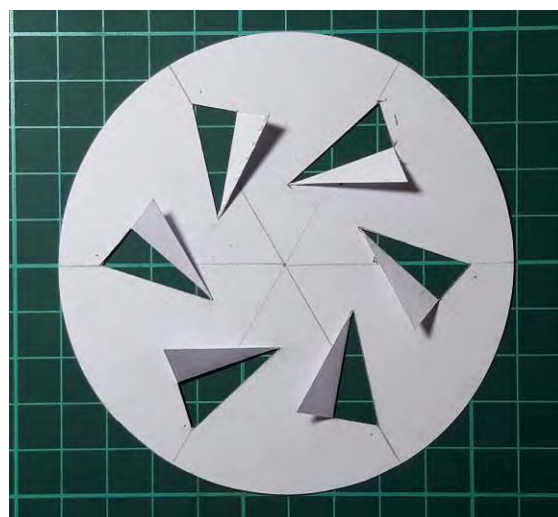


圖 23b. 直角三角形 A (底 2.4 cm，高 1 cm)  
(高-遠離圓心的展開圖)

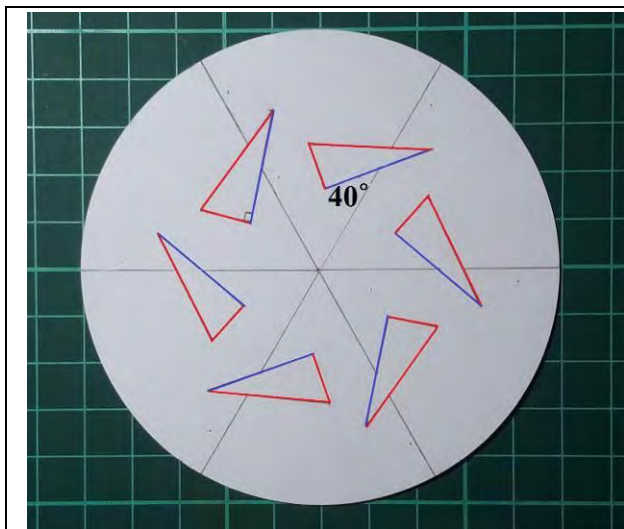


圖 24a. 直角三角形 B (底 2.4 cm, 高 1 cm)  
(高-靠近圓心的構圖)



圖 24b. 直角三角形 B (底 2.4 cm, 高 1 cm)  
(高-靠近圓心的展開圖)

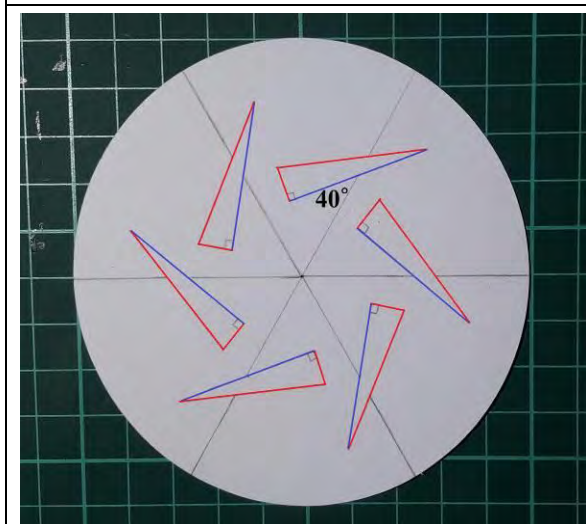


圖 25. 直角三角形 C (底 3.2cm, 高 0.75 cm)  
(構圖)

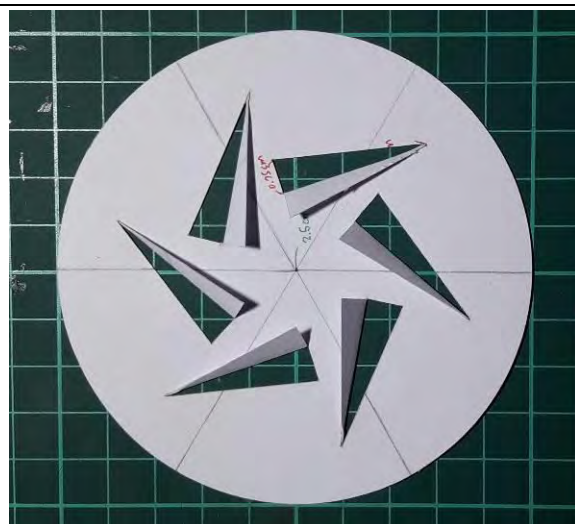


圖 25b: 直角三角形 C (底 3.2cm, 高 0.75 cm)  
(展開圖)

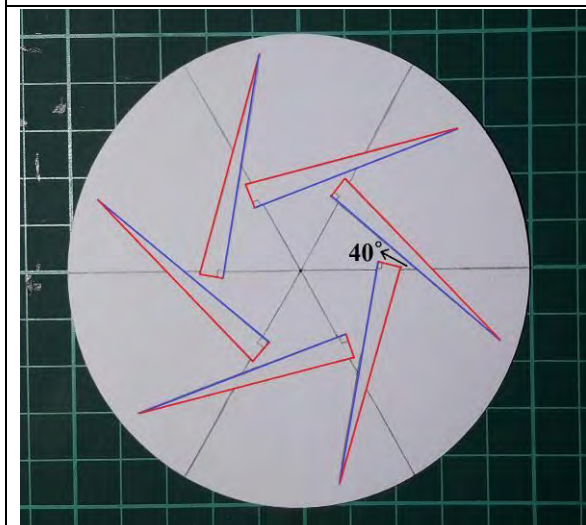


圖 26a. 直角三角形 D (底 4.8cm, 高 0.5 cm)  
(構圖)

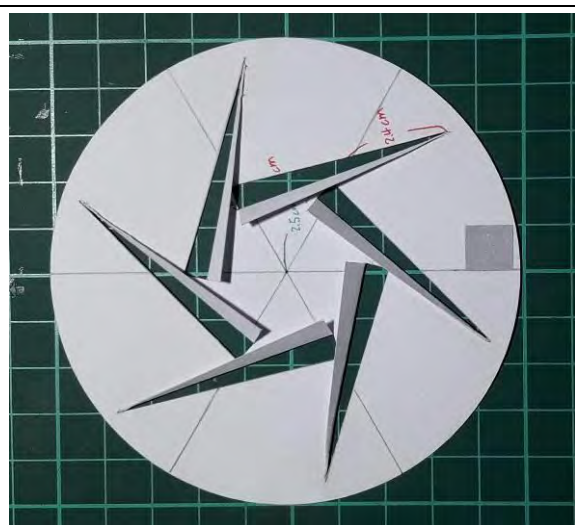


圖 26b. 直角三角形 D (底 4.8cm, 高 0.5 cm)  
(展開圖)



(三) 實驗結果：

表 5：等面積不同邊長的翻摺紙面對風力環旋轉的影響

紙面翻摺形狀	長方形 A	直角三角形 A	直角三角形 B	直角三角形 C	直角三角形 D
邊長	長 2.4 cm 寬 0.5 cm	底 2.4 cm 高 1 cm	底 2.4 cm 高 1 cm	底 3.2cm 高 0.75 cm	底 4.8cm 高 0.5 cm
平均轉速 (rpm)	121.2	72.9	130.6	78.5	89.3
最大轉速 (rpm)	138.9	120.8	161.8	88.8	123.1
最小轉速 (rpm)	109.9	8.5	110.3	56.2	0.0
全距 (rpm)	29.0	112.3	51.5	32.6	123.1
標準差	7.6	32.3	12.5	6.4	32.7

◎註 1：長方形 A 的數據是取自表 4-翻摺紙面與圓心角度呈 40 度的數據。

◎註 2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

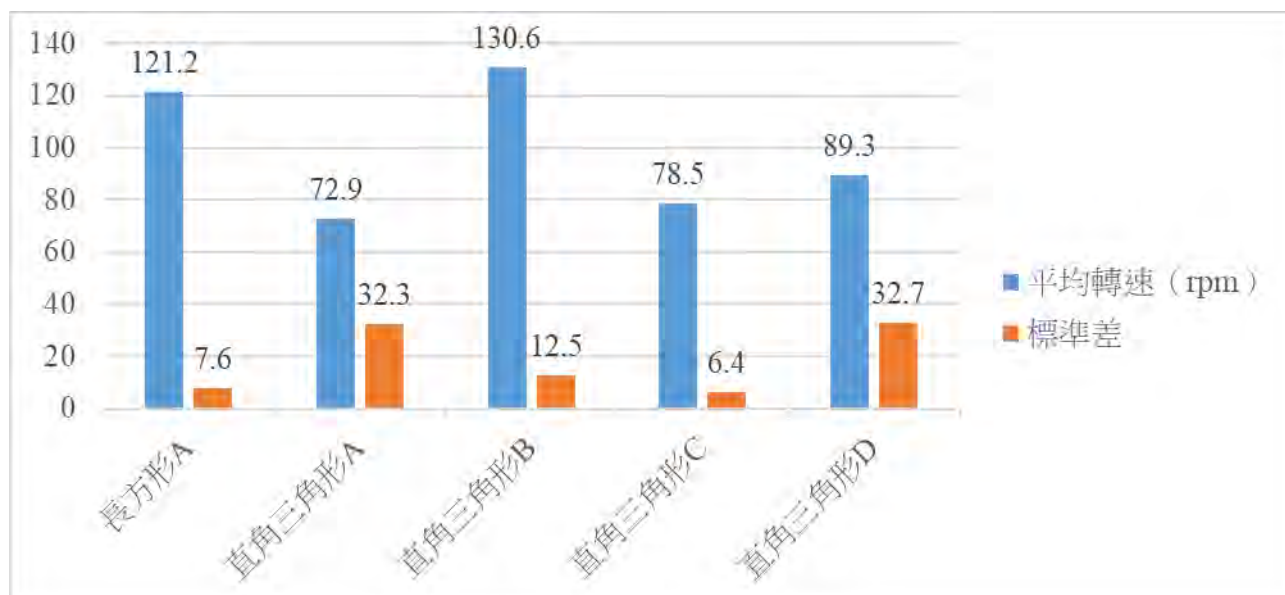


圖 27：翻摺紙面的形狀對風力環旋轉的影響

#### (四) 實驗討論：

1. 實驗結果發現，相同面積情況下，翻摺紙面形狀的平均旋轉速度為直角三角形 B > 長方形 A > 直角三角形 D > 直角三角形 C > 直角三角形 A，而標準差為直角三角形 C < 長方形 A < 直角三角形 B < 直角三角形 A < 直角三角形 D。
2. 直角三角形 A 的平均轉速最慢，我們推測應是與圓心接近處的面積大小有關，風先接觸到較低的紙面會直接越過而不推動紙盤；直角三角形 B 有較高的紙面提供了較大屏障，受到風的推力而明顯旋轉，所以平均轉速最快。
3. 直角三角形 C 的標準差最小，顯示在不快的旋轉速度下，它擁有最高的穩定性。
4. 實驗中發現直角三角形 A、D 都有停下來再重新旋轉的情形，所以標準差也會較大，相對穩定性較差。

#### 子題二：相同形狀不同面積的翻摺紙面

##### (一) 實驗說明：

為了想要了解風力環轉速是否與圓心接近處的面積大小有關，因此我們想比較相同底長不同高的翻摺紙面對風力環轉動的情形。從子題一中發現等面積不同邊長的翻摺紙面為長方形 A 與直角三角形 B 的平均轉速都有 120 rpm 以上，所以我們將底長固定為 2.4cm 來探討。

##### (二) 實驗步驟：

1. 在西卡紙上剪下半徑 5cm 的圓形，分別在不同圓內等距畫下 6 個長方形 B (圖 28a.)、長方形 C (圖 29a.)、直角三角形 E (圖 30a.)、直角三角形 F (圖 31a.)，其翻摺線中心點與圓心距離為 2.5cm，而與圓心的角度分別為 40 度。
2. 用美工刀將圖形的紅線割開，藍線則朝上翻摺，並用 20 本自然習作(100g/本)上壓 3 分鐘後再拿開 (圖 28b.、29b.、30b.、31b.)。
3. 將竹籤插入紙盤的中心點，插入深度為 1.5cm，即完成了風力環。
4. 將風力環放置於送風裝置下方，出風管口與紙面距離為 1.5cm，開啟吹風機給予送風。
5. 使用轉速計，等待 10 秒後開始記錄轉動數據，每個風力環測量三次每次 1 分鐘，再將三次測得數據求平均值。

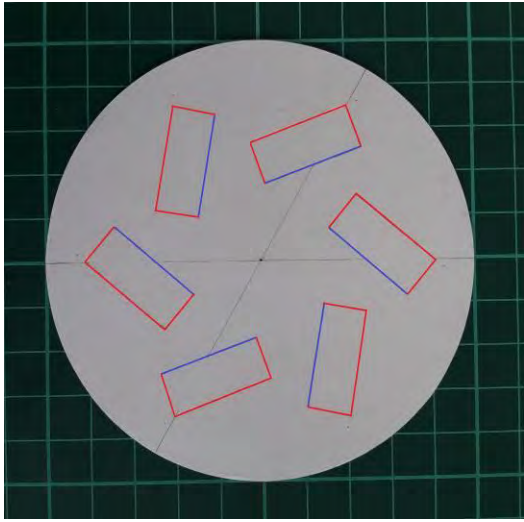


圖 28a.長方形 B (長 2.4cm, 寬 1 cm)  
(構圖)

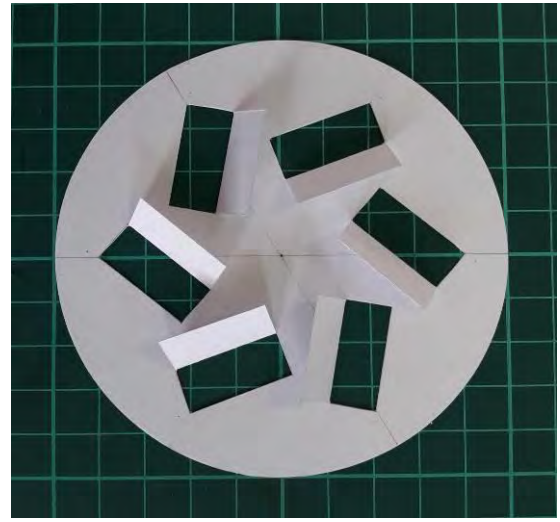


圖 28b.長方形 B (長 2.4cm, 寬 1 cm)  
(展開圖)

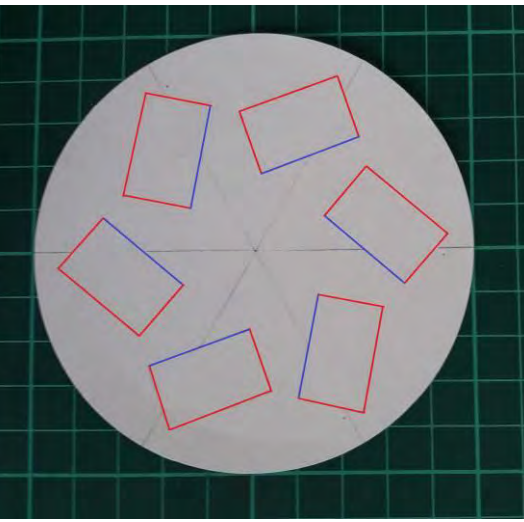


圖 29a.長方形 C (長 2.4cm, 寬 1.5 cm)  
(構圖)



圖 29b.長方形 C (長 2.4cm, 寬 1.5 cm)  
(展開圖)

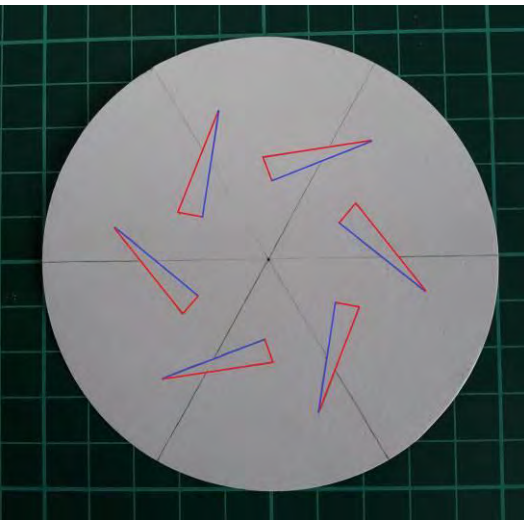


圖 30a.直角三角形 E (底 2.4cm, 高 0.5 cm)  
(構圖)

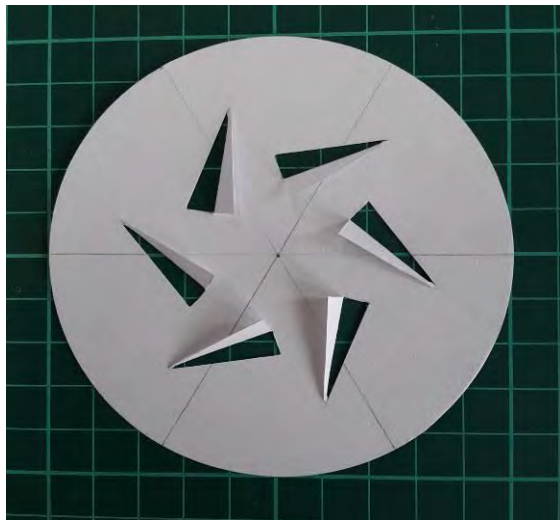


圖 30b.直角三角形 E (底 2.4cm, 高 0.5 cm)  
(展開圖)

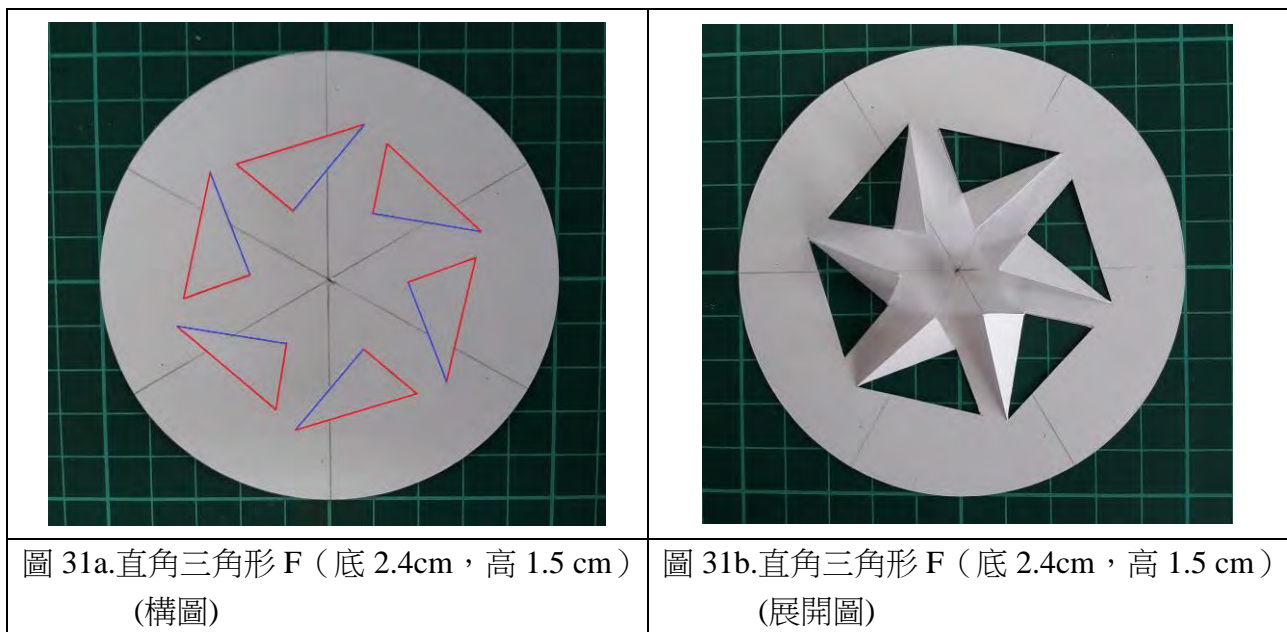


圖 31a.直角三角形 F (底 2.4cm , 高 1.5 cm)  
(構圖)

圖 31b.直角三角形 F (底 2.4cm , 高 1.5 cm)  
(展開圖)

(三) 實驗結果：

表 6：相同底長不同高的翻摺紙面對風力環旋轉的影響

紙面翻摺 形狀	長方形 A	長方形 B	長方形 C	直角 三角形 E	直角 三角形 B	直角 三角形 F
邊長	長 2.4cm 寬 0.5cm	長 2.4cm 寬 1 cm	長 2.4cm 寬 1.5cm	底 2.4cm 高 0.5cm	底 2.4cm 高 1 cm	底 2.4cm 高 1.5cm
面積	1.2 cm <sup>2</sup>	2.4 cm <sup>2</sup>	3.6 cm <sup>2</sup>	0.6 cm <sup>2</sup>	1.2 cm <sup>2</sup>	1.8cm <sup>2</sup>
平均轉速 (rpm)	121.2	117.9	93.1	100.3	130.6	72.0
最大轉速 (rpm)	138.9	136.1	100.1	125.0	161.8	98.0
最小轉速 (rpm)	109.9	101.1	82.6	77.3	110.3	48.9
全距 (rpm)	29.0	35.0	17.5	47.7	51.5	49.1
標準差	7.6	8.6	4.5	10.4	12.5	11.2

◎註 1：長方形 A 的數據是取自表 4-翻摺紙面與圓心角度呈 40 度的數據。

◎註 2：直角三角形 B 的數據是取自表 5。

◎註 3：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

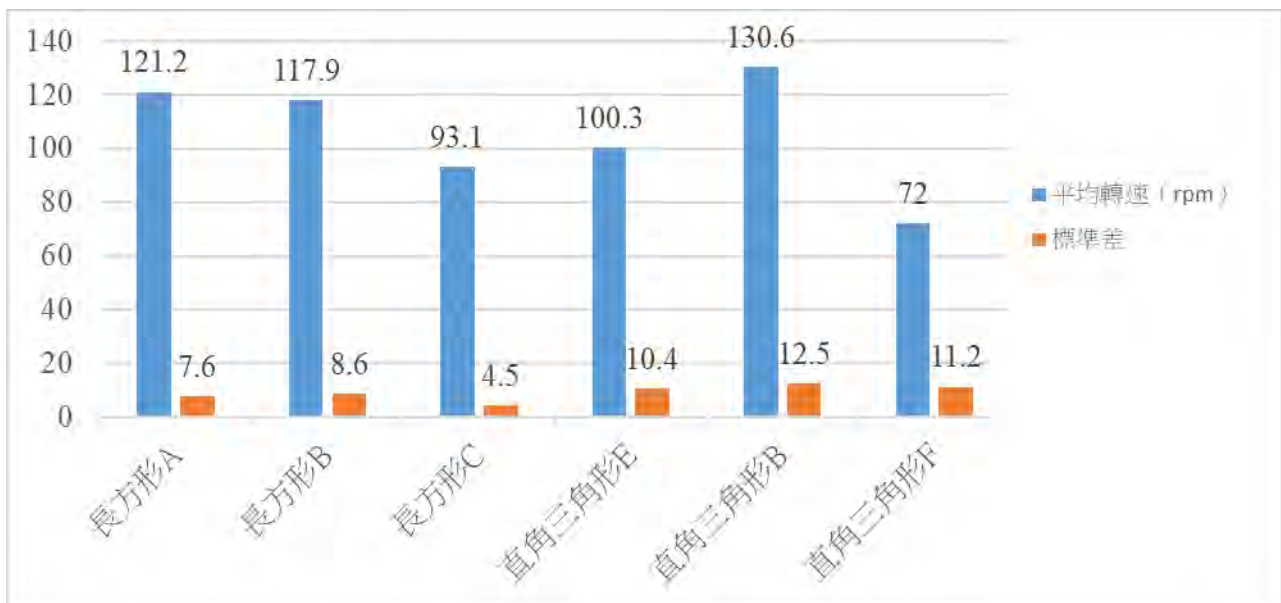


圖 32：相同底長不同高的翻摺紙面對風力環旋轉的影響

#### (四) 實驗討論：

1. 長方形中相同底長不同高的翻摺紙面平均轉速為長方形 A>長方形 B>長方形 C。
2. 直角三角形中相同底長不同高的翻摺紙面平均旋轉速度為直角三角形 B >直角三角形 E>直角三角形 F。
3. 從討論 1 和 2 發現，翻摺紙面與圓心接近處的面積越大，平均轉速不一定越快。在相同底長不同高的翻摺紙面平均轉速又以直角三角形 B >長方形 A，所以我們發現翻摺紙面的最佳形狀為直角三角形 B。
4. 我們思考如何能讓風力環旋轉快且穩定呢？若是改變圓形紙盤的外形，是會有什麼不同的情形？

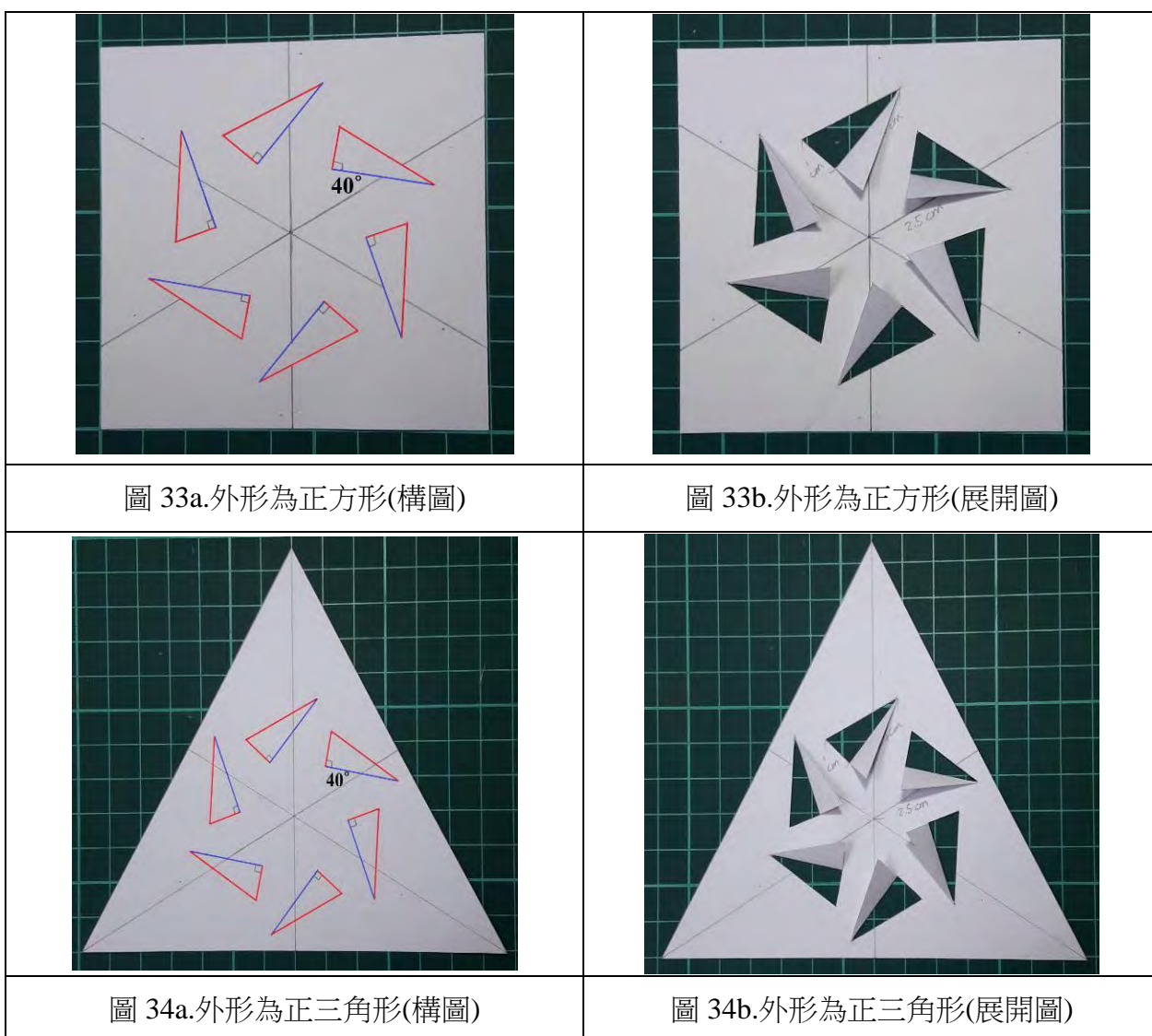
### 研究六、探討不同外形的紙盤對風力環旋轉的影響

#### (一) 實驗說明：

圓形的風力環半徑為 5cm，面積約為 78.5 平方公分，要比較不同外形的風力環，彼此間的面積不能相異太大，所以正方形的邊長設定為 8.9 cm（面積 79.21 平方公分），比邊長為 8.8 cm（面積 77.44 平方公分）更接近半徑 5cm 圓形的面積，而正三角形邊長為 13.5cm，（面積約為 78.9 平方公分）也較為接近半徑 5cm 圓形的面積。

(二) 實驗步驟：

1. 在西卡紙上分別剪下半徑 5cm 的圓形，邊長 8.9cm 的正方形（圖 33a.），邊長 13.5cm 的正三角形（圖 34a.）。
2. 在三種外形的紙盤內等距畫下 6 個直角三角形 B，其翻摺線中心點與圓心距離為 2.5cm，而與圓心的角度為 40 度。
3. 用美工刀將圖形的紅線割開，藍線則朝上翻摺，並用 20 本自然習作(100g/本)上壓 3 分鐘後再拿開（圖 33b.、34b.）。
4. 將竹籤插入紙盤的中心點，插入深度為 1.5cm，即完成了風力環。
5. 將風力環放置於送風裝置下方，出風管口與紙面距離為 1.5cm，開啟吹風機給予送風。
6. 使用轉速計，等待 10 秒後開始記錄轉動數據，每個風力環測量三次每次 1 分鐘，再將三次測得數據求平均值。



(三) 實驗結果：

表 6.不同外形的紙盤對風力環旋轉的影響

紙盤外形	圓形	正方形	正三角形
平均轉速 (rpm)	130.6	88.1	75.3
最大轉速 (rpm)	161.8	118.5	127.1
最小轉速 (rpm)	110.3	41.6	33.2
全距 (rpm)	51.5	76.9	93.9
標準差	12.5	18.2	22.5

◎註 1：圓形紙盤的數據是取自表 5-直角三角形 B 的數據。

◎註 2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

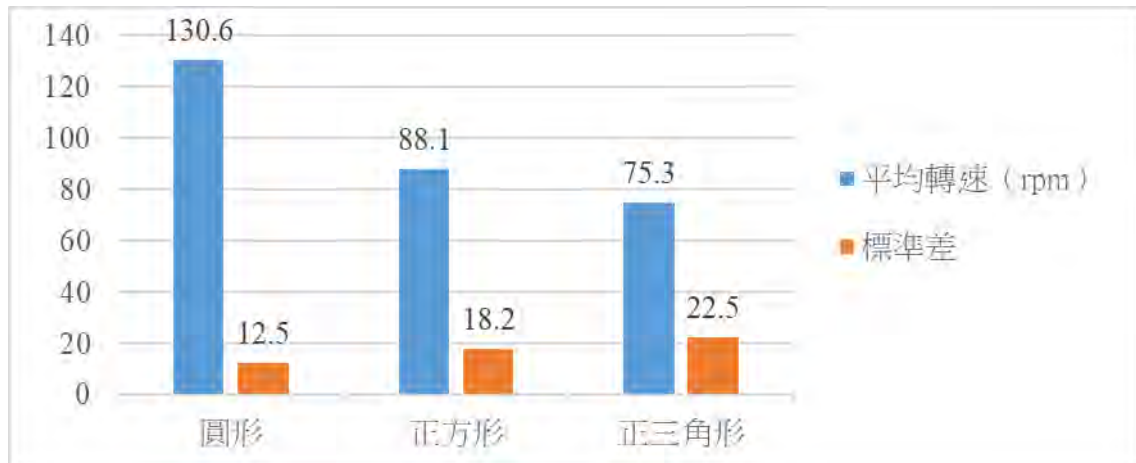


圖 35：不同外形的紙盤對風力環旋轉的影響

(四) 實驗討論：

1. 實驗結果發現，風力環的旋轉速度以外形為圓形 >正方形 >正三角形。雖外形為圓形的風力環轉速最大，但穩定性最差。
2. 外形為正方形的風力環轉速及穩定性都比外形為正三角形的好，圓形紙盤因轉速快得多，稍微影響了穩定性（標準差最大）。
3. 正方形與正三角形的外形皆無法增加風力環的轉速，卻也增添了新鮮感，因轉動起來的效果不同於圓形。
4. 我們思考如果改變直角三角形 B 與圓心的距離做改變，結果會是如何呢？

## 研究七、探討翻摺紙面與圓心距離對風力環旋轉的影響

### (一) 實驗說明：

原本想將直角三角形 B 與圓心的距離再拉近 1 cm (即與圓心距離為 1.5cm)，但三角形有重疊情形，所以最多只能拉近 0.8cm (即與圓心距離為 1.7cm)。

### (二) 實驗步驟：

1. 在西卡紙上剪下半徑 5cm 的圓形，圓內等距畫下 6 個直角三角形 B，其翻摺線中心點與圓心距離為 1.7cm、3.5 cm，而與圓心的角度為 40 度(圖 36a.、37a.)。
2. 在西卡紙上剪下一個半徑 5cm 的圓形，圓內等分 12 條直徑，錯開畫下與圓心距離分別為 1.7cm、3.5 cm 的直角三角形，而其與圓心的角度皆為 40 度(圖 38a.)。
3. 用美工刀將圖形的紅線割開，藍線則朝上翻摺，並用 20 本自然習作(100g/本)上壓 3 分鐘後再拿開 (圖 36b.、37b.、38b.)。
4. 將竹籤插入紙盤的中心點，插入深度為 1.5cm，即完成了風力環。
5. 將風力環放置於送風裝置下方，出風管口與紙面距離為 1.5cm，開啟吹風機給予送風。
6. 使用轉速計，等待 10 秒後開始記錄轉動數據，每個風力環測量三次每次 1 分鐘，再將三次測得數據求平均值。

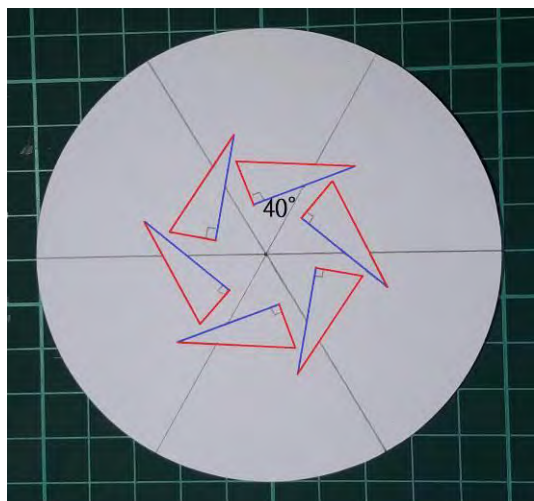


圖 36a.與圓心距離為 1.7cm(構圖)

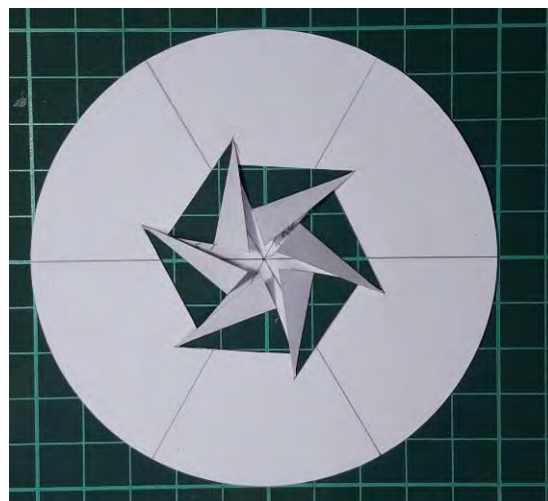
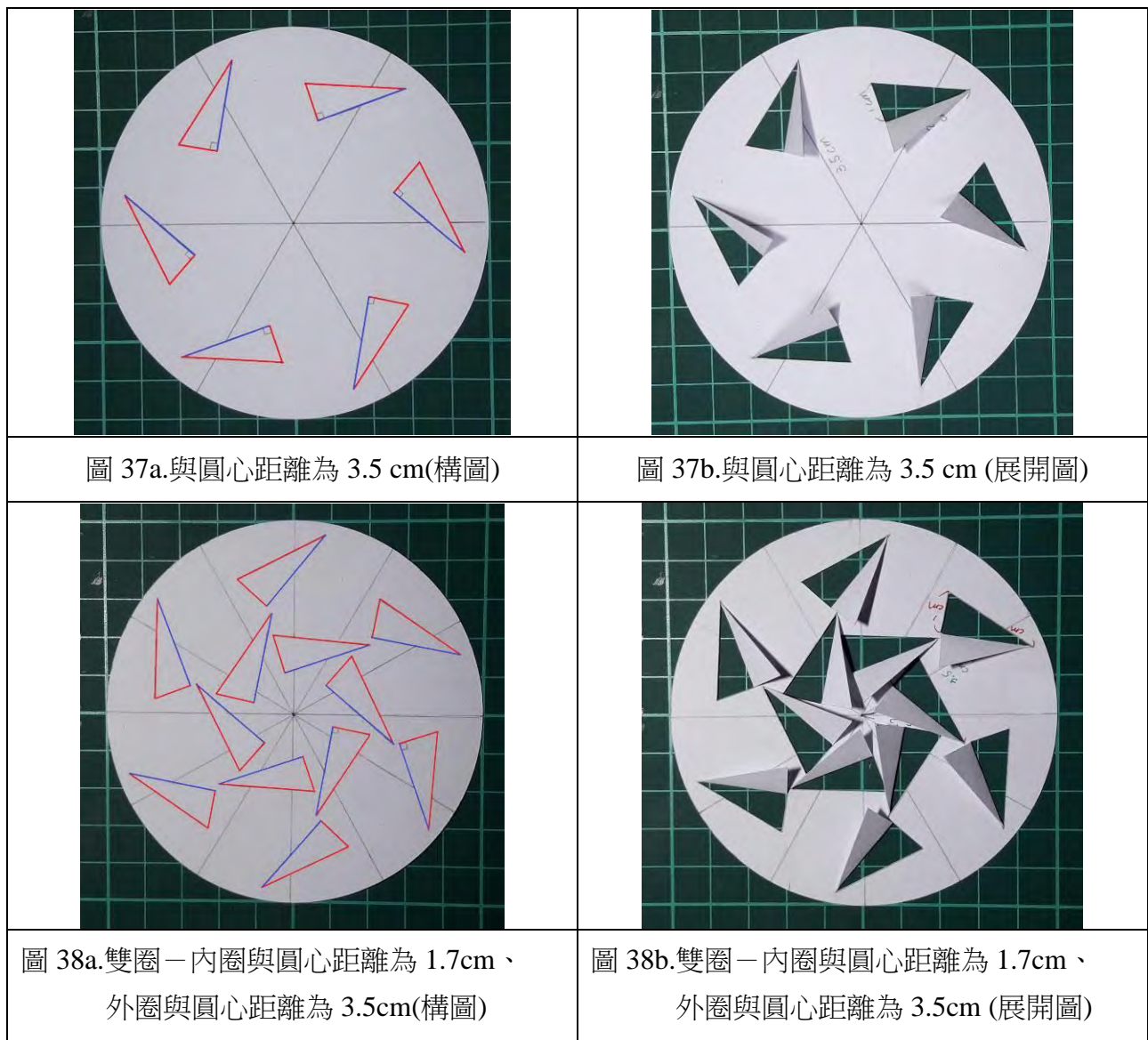


圖 36b.與圓心距離為 1.7cm (展開圖)





(三) 實驗結果：

表 8.翻摺紙面與圓心的距離對風力環旋轉的影響

與圓心的距離	1.7cm	2.5cm	3.5 cm	1.7cm&3.5cm
平均轉速 (rpm)	157.5	130.6	85.5	189.8
最大轉速 (rpm)	187.1	161.8	101.3	205.2
最小轉速 (rpm)	125.9	110.3	30.1	174.2
全距 (rpm)	61.2	51.5	71.2	31.0
標準差	13.0	12.5	14.9	8.7

◎註 1：與圓心距離 2.5cm 的數據是取自表 5-直角三角形 B 的數據。

◎註 2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

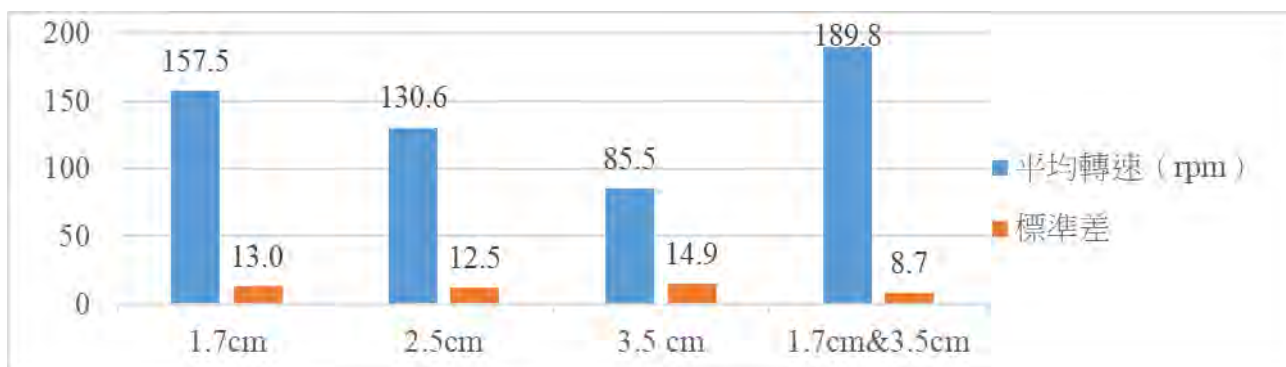


圖 39：翻摺紙面與圓心的距離對風力環旋轉的影響

#### (四) 實驗討論：

1. 實驗結果發現，直角三角形 B 的平均旋轉速度與穩定度都是翻摺線與圓心距離為 1.7cm&3.5cm > 1.7cm > 2.5 cm > 3.5 cm。
2. 翻摺線與圓心距離為 1.7cm&3.5cm 的風力環是增加了翻摺紙面的數量，所以結果與研究三相同，數量增加，旋轉速度也會加快。

### 研究八、探討竹籤插入紙盤的不同深度對風力環旋轉的影響

#### (一) 實驗說明：

我們認為竹籤插入紙盤的深度越深，那麼竹籤上半部在送風管中的長度就會減短，相對的風的阻力也應該會降低。於是我們進行也做了風速的實驗。

#### (二) 實驗步驟：

##### 1. 風速的測試

- (1). 將三支竹籤的下半部分別剪斷 1.5cm、3.5cm、6.5cm。
- (2). 出風管口與風速計的測量距離為 1.5cm，竹籤上半部留在送風管中的長度分別為 7 cm、5cm、2cm。
- (3). 開啟吹風機給予送風，並計時 1 分鐘，記錄風速計上的數並進行分析。

##### 2. 竹籤插入紙盤的不同深度的操作

- (1). 用西卡紙製作同（圖 36b.、38b.）的風力環。
- (2). 將竹籤插入紙盤的中心點，插入深度分別為 3.5cm、6.5cm，即完成了風力環。
- (3). 將風力環放置送風裝置下方，出風管口與紙面距離為 1.5cm，開啟吹風機給予送風。

(4). 使用轉速計，等待 10 秒後開始記錄轉動數據，每個風力環測量三次每次 1 分鐘，再將三次測得數據求平均值。

(三) 實驗結果：

表 9. 竹籤插入紙盤的不同深度對風力環旋轉的影響

深度	1.5cm	3.5cm	6.5 cm	1.5cm	3.5cm
圈數	單	單	單	雙	雙
與圓心的距離	1.7cm			1.7cm&3.5cm	
平均風速 (m/s)	2.5	2.8	2.9	2.5	2.8
平均轉速 (rpm)	157.5	175.2	154.4	189.9	196.3
最大轉速 (rpm)	187.1	197.5	175.3	205.2	204.7
最小轉速 (rpm)	125.9	156.4	131.9	174.2	177.2
全距 (rpm)	61.2	41.1	43.4	31.0	27.5
標準差	13.0	6.1	13.1	8.7	5.8

◎註 1：深度 1.5cm 的數據是取自表 8-翻摺紙面與圓心距離為 1.7cm 的數據。

◎註 2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

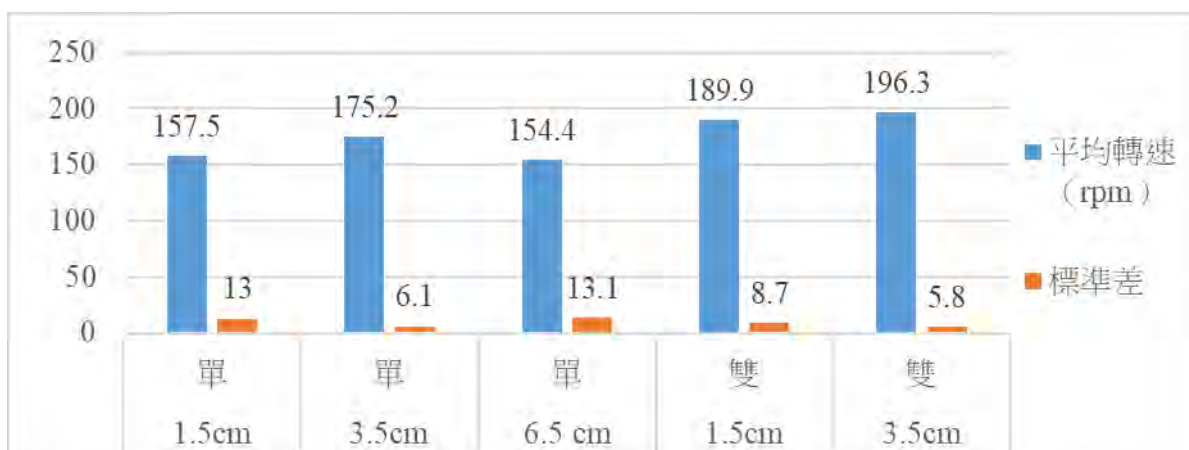


圖 40. 竹籤插入紙盤的不同深度對風力環旋轉的影響

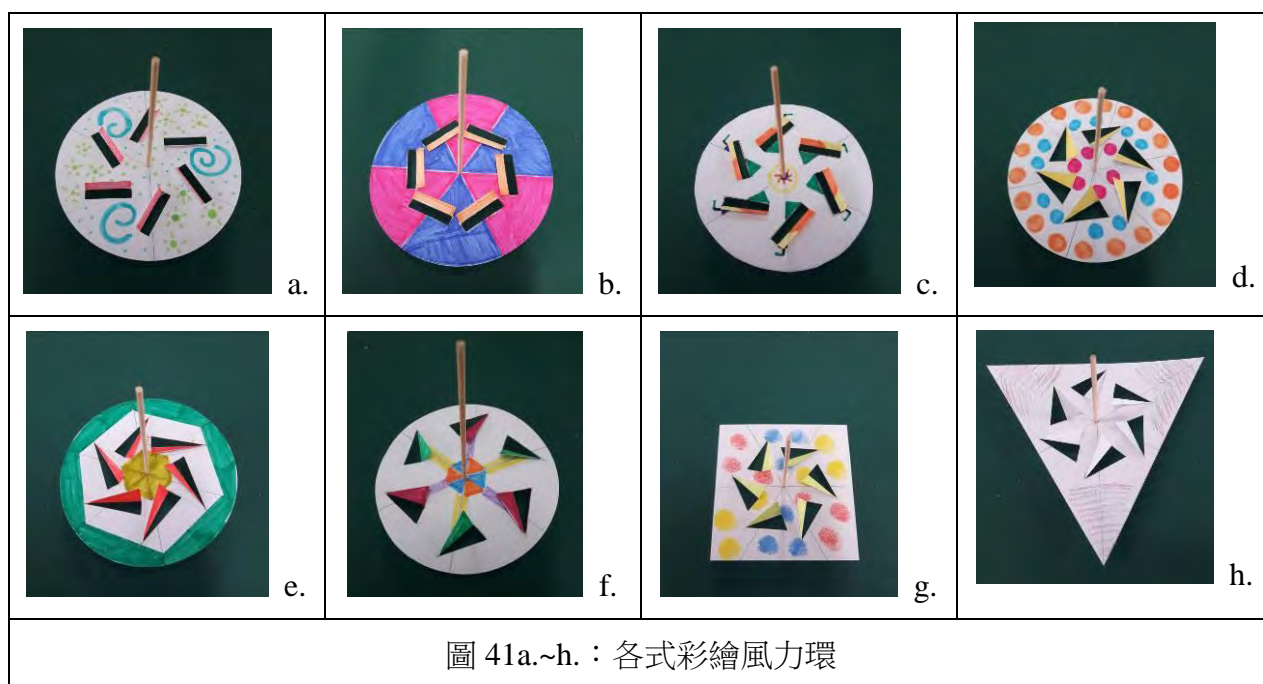
#### (四) 實驗討論：

1. 竹籤插入紙盤深度越深，那麼竹籤上半部在送風管中的長度就會減少，風速也會增強。
2. 竹籤插入紙盤深度為 6.5cm 的平均風速雖然最大，但旋轉速度並不是最快的。在進行深度為 6.5cm 的實驗時，發現竹籤尖端旋轉的幅度較大，有畫圓的情形。我們推測這是影響轉速的原因。
3. 風力環平均旋轉速度以竹籤插入紙盤的深度為 3.5cm(雙圈) > 1.5cm(雙圈) > 3.5cm(單圈) > 1.5cm(單圈) > 6.5cm(單圈)。
4. 標準差以竹籤插入紙盤的深度為 3.5cm(雙圈) < 3.5cm(單圈) < 1.5cm(雙圈) < 1.5cm(單圈) < 6.5cm(單圈)。

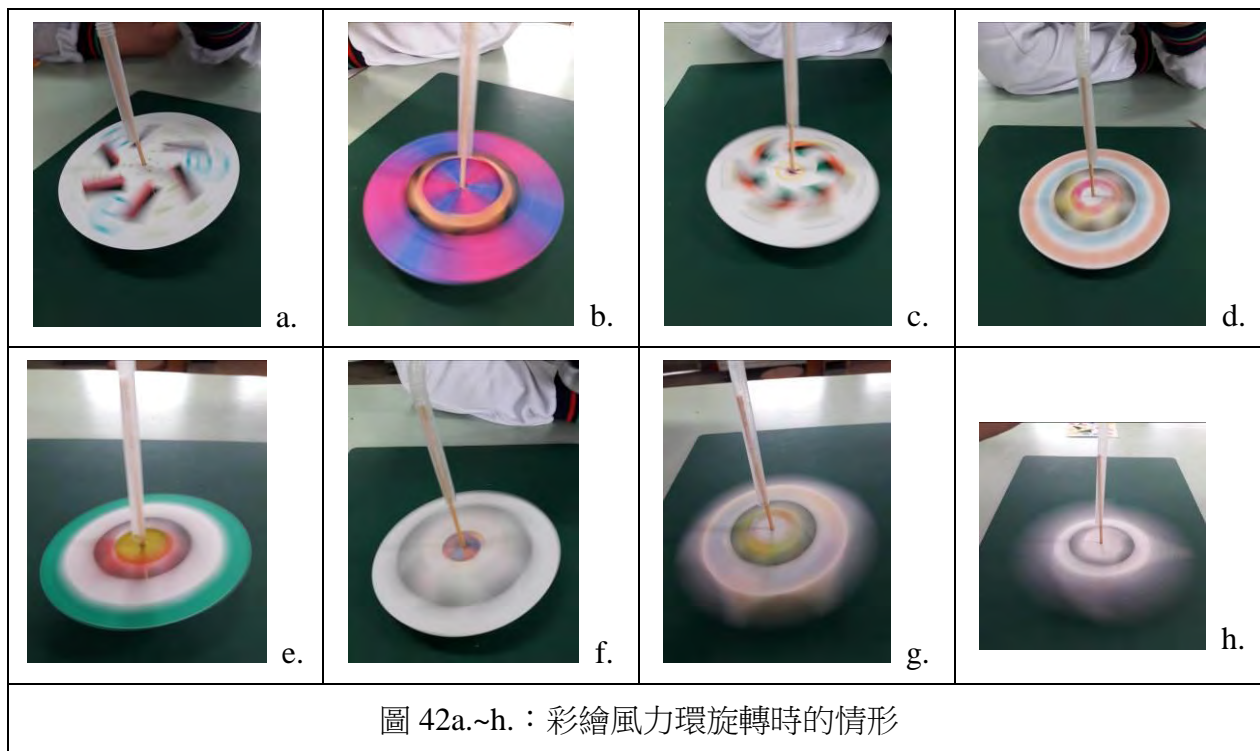
#### 研究九、彩繪風力環增加趣味性

##### (一) 實驗步驟：

1. 在西卡紙上剪下喜歡的紙盤外形並在紙盤內等距的畫下翻摺形狀。
2. 用色筆在紙盤上進行彩繪。
3. 用美工刀將圖形進行割開及朝上翻摺，並用 20 本自然習作(100g/本)上壓 3 分鐘。
4. 將竹籤插入紙盤的中心點，插入深度為 1.5cm，即完成了彩繪風力環（圖 41a.~i.）。
5. 取一吸管由上插入竹籤中，須與紙面有空隙，即可吹氣進行實驗。



(二) 實驗結果：



(三) 實驗討論：

1. 彩繪風力環，讓旋轉時更加漂亮。
2. 正方形與正三角形外形的風力環，雖然在轉速上不及圓形，但在彩繪後遊戲上的旋轉效果更令人驚豔，令人想再設計出更多不同外形的風力環。
3. 風力環在吹氣玩幾次後容易滑脫竹籤，所以可以在紙盤的中心點塗上白膠或保麗龍膠以作固定。
4. 我們還想到了一個新玩法，在對著吸管用力吹氣數次後抽出吸管，看誰的風力環持續動最久？這可不是單用力吹氣，就可以的唷！我們發現在一開始吹氣前，要讓風力環站好，竹籤盡量與桌面垂直，用力吹氣後，要快速並小心的抽出吸管，才能持續轉動的久。

## 伍、研究結論

### 一、風力環紙盤：

- (一) 向內摺翻摺紙面的風力環旋轉效果比向外翻摺的好。
- (二) 翻摺紙面的數量越多，旋轉速度越快。
- (三) 紙面翻摺線與圓心的角度以 40 度最佳，且為逆時針方向旋轉；而夾角為 90 度者，風力環則是無法轉動。
- (四) 翻摺紙面的形狀以直角三角形 B 的平均旋轉速度>長方形 A，但標準差卻是直角三角形 B>長方形 A，表示直角三角形 B 的旋轉穩定性較差。
- (五) 翻摺紙面與圓心接近處的面積越大，平均轉速不一定越快，以靠近圓心的高為 1cm 且底長為 2.4cm 的直角三角形 B 為最佳。
- (六) 直角三角形 B 的翻摺線與圓心距離 1.7cm 的平均旋轉速度最快，且標準差也最低。
- (七) 紙盤外形以圓形>正方形>正三角形。

### 二、出風管口與紙面的距離

- (一) 轉速以距離 1cm>1.5cm>2cm 。
- (二) 由於出風管口與紙面距離 1cm 與 1.5cm 的轉速僅差 0.8rpm，但距離 1.5cm 的標準差卻小於距離 1cm，所以我們以標準差小的為主，作為之後實驗的設定距離。

### 三、竹籤插入紙盤的深度

- (一) 竹籤插入紙盤深度越深，竹籤上半部在送風管中的長度就會變短，風速也會增強。
- (二) 風力環平均旋轉速度以竹籤插入紙盤的深度為雙圈>單圈。
- (三) 標準差以竹籤插入紙盤的深度為 3.5cm<1.5cm <6.5cm 。

### 四、創意風力環

- (一) 彩繪風力環，讓紙盤旋轉時更加漂亮。
- (二) 可趣味競賽，看誰的風力環轉得最久。

## 陸、未來研究

- 一、風力環翻摺紙面的其他形狀是否會影響風力環的旋轉。
- 二、風力環的竹籤尖端改成圓珠是否會影響風力環的旋轉。

## 柒、參考資料

- 一、國小自然與生活科技(2016)。第一冊。第三單元看不見의空氣。臺北：康軒出版社。
- 二、國小自然與生活科技(2016)。第五冊。第四單元力與運動。臺北：康軒出版社。
- 三、國小自然與生活科技(2016)。第八冊。第四單元簡單機械。臺北：康軒出版社。
- 四、許良榮（2014）。玩出創意 3：77 個奇趣科學玩具（頁 126-127）。臺北：書泉出版社。
- 五、NTCU 科學遊戲實驗室（2017）。風力環。2017 年 10 月 2 日取自  
<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-016.html>

## 【評語】 080105

實驗主題相當有趣且變因討論周全。研究盡可能系統性的改變一些幾何因素來呈現相對應的結果，是做得不錯的研究工作。其努力的精神相當值得肯定！



# 摘要

本研究在探討影響風力環轉動的因素有哪些，我們發現影響因素有：(1)風力環紙盤內翻摺紙面方向、數量、角度和形狀、翻摺線與圓心距離、紙盤外形。(2)出風管口與紙面的距離。(3)竹籤插入紙盤的深度。要製作一個轉動效果好的風力環，紙盤外形以圓形為主，其紙面要向內翻摺，紙面翻摺線與圓心要有角度。紙面翻摺形狀以直角三角形B的旋轉效果佳，其翻摺線與圓心距離為1.7 cm的轉速最快。出風管口與紙面的距離為1.5 cm及竹籤插入紙盤的深度為3.5 cm者，能讓風力環的旋轉的穩定性更好。透過彩繪可以將風力環變得更美麗，也能做為趣味競賽的活動呢！

## 壹 研究動機

下課時，老師看到同學們在玩紙陀螺的遊戲，老師便和我們分享用吸管也可以玩陀螺的方法，原來老師介紹的是「科學遊戲實驗室」裡的風力環。於是，我們利用課餘來做，才發現做一個輕鬆吹氣便可以美麗且穩定旋轉的風力環，可不是那麼簡單的。

剛好對科展有興趣的我們正在思考要以什麼為主題，於是我們決定就以風力環成為我們這次科展的題目！

## 貳 研究目的

- 一、探討紙面的不同翻摺方向對風力環的影響
- 二、探討紙盤與出風管口距離對風力環旋轉的影響
- 三、探討翻摺紙面數量對風力環旋轉的影響
- 四、探討翻摺紙面與圓心角度對風力環旋轉的影響
- 五、探討翻摺紙面形狀對風力環旋轉的影響
- 六、探討不同外形的紙盤對風力環旋轉的影響
- 七、探討翻摺紙面與圓心距離對風力環旋轉的影響
- 八、探討竹籤插入紙盤的不同深度對風力環旋轉的影響
- 九、彩繪風力環增加趣味性

## 參 研究設備及器材

西卡紙、圓規刀、切割墊、美工刀、量角器、直尺、竹籤（長10cm 直徑0.2cm）、透明軟管（內徑6.4mm）、漏斗、相機腳架、吹風機（具有冷風功能）、智高積木、測轉速計（DIGITAL TACHOMETER DT-2234A）、測風速計（HANLIN-FGM816）。

## 肆 研究過程

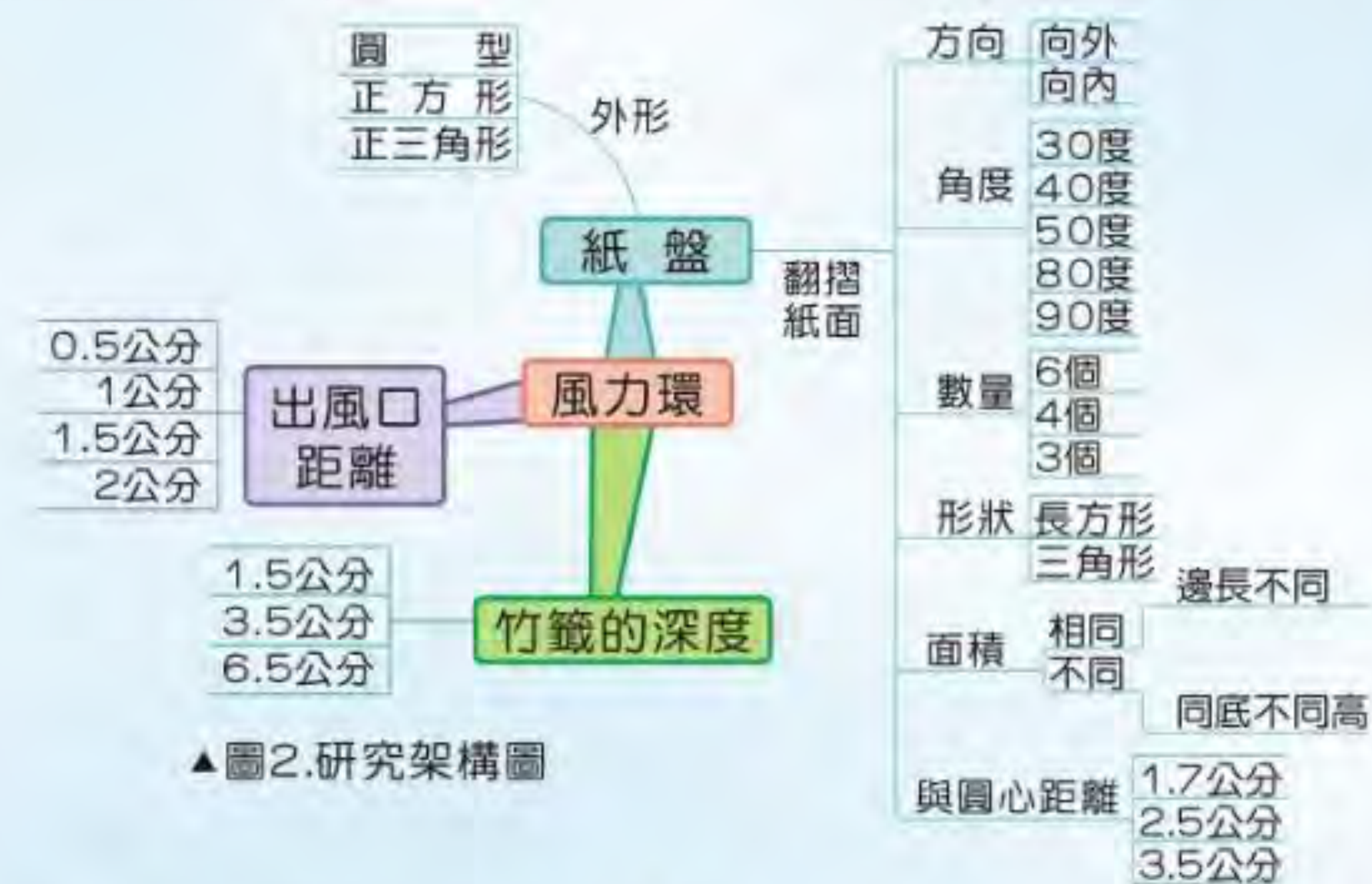
### 一、文獻探討

我們收集相關的研究資料發現在《玩出創意3》及台中教育大學「科學實驗室」網站有相關的內容，其原理如下：風力環能旋轉，主要是因為由吸管吹進去的氣流，由紙面流出來後，推動了風力環上的紙片（如圖1.）。因此，只要紙面上設計能導引氣流的構造，也就是受風面積越大（紙面與圓心要有角度），就可以讓風力環旋轉速度越快。



▲圖1.風推動風力環上紙片的示意圖

### 二、研究架構



▲圖2.研究架構圖

### 三、風力環的製作設計過程

#### (一) 風力環的主體

##### 1. 紙盤大小：

圖3.為文獻中參考的圖形，由於我們想試驗不同的翻摺形狀及角度，考量風力環太小則不易割開及翻摺，所以選定半徑5cm的圓形紙；又因牙籤較為細短，與半徑5cm圓形紙的不成比例，故改以10cm的竹籤代替牙籤。



▲圖3.文獻參考圖

##### 2. 翻摺紙面與圓心的角度：

指的是翻摺線和翻摺線中點到圓心的連線夾角(如圖4.)；作法為翻摺線與半徑重疊，以翻摺線的中心點當作圓心，順時針方向旋轉的角度，即為實驗角度。



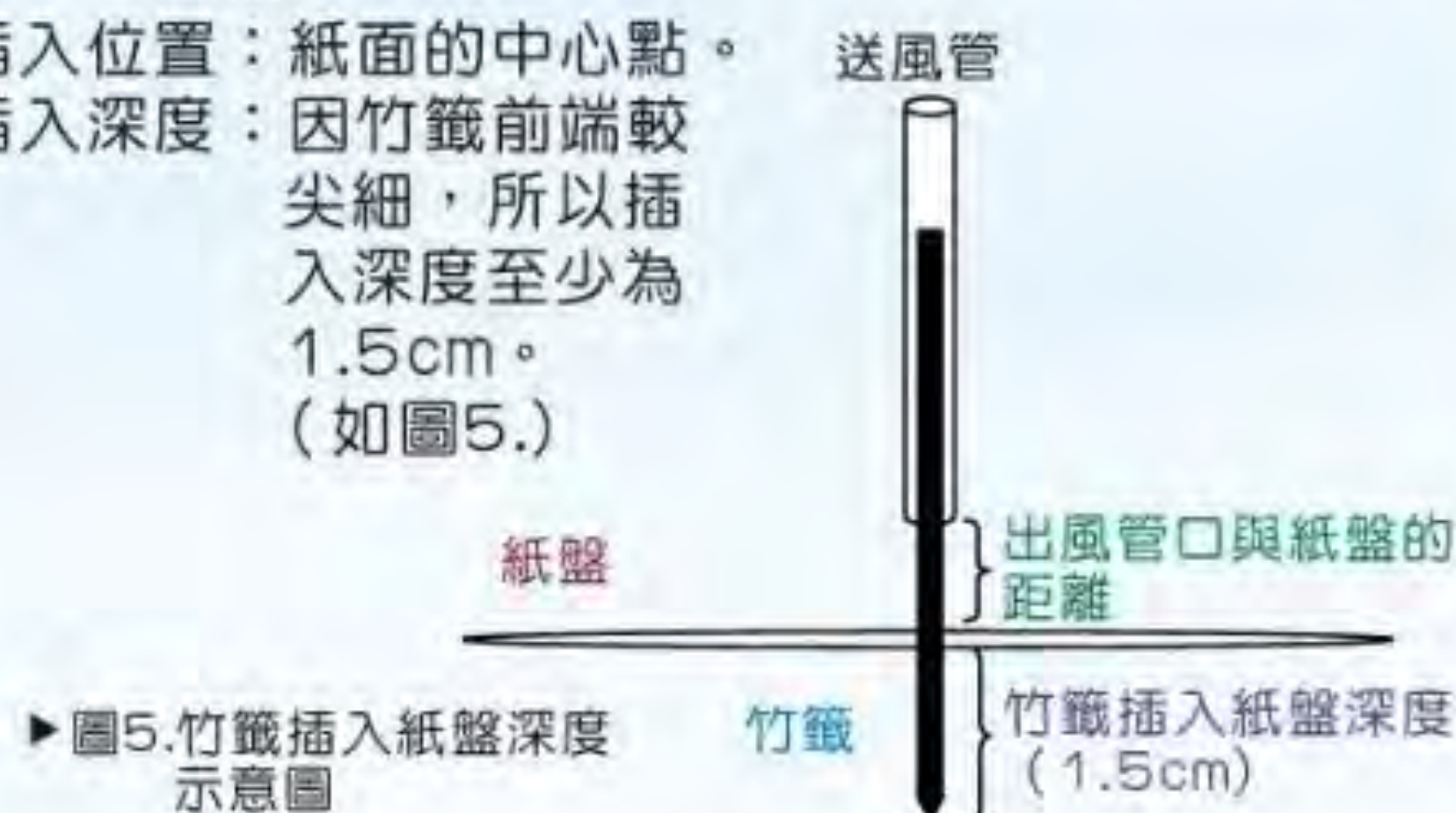
▲圖4.翻摺紙面與圓心的角度示意圖

#### (二) 竹籤

1. 挑選：竹籤的重量會影響風力環轉動的速度，所以使用電子秤挑選重量相同且筆直的竹籤進行試驗。

2. 插入位置：紙面的中心點。

3. 插入深度：因竹籤前端較尖細，所以插入深度至少為1.5cm。(如圖5.)



▲圖5.竹籤插入紙盤深度示意圖

### (三) 送風裝置

文獻中是以口對吸管吹氣來吹動風力環，由於實驗進行需固定風量，所以使用有冷風功能的吹風機代替口吹氣；使用透明軟管取代吸管，並在軟管前端接上漏斗，以便於罩住吹風機的吹口。



▲圖6a.

固定軟管的支架原先是利用相機腳架與鞋架來組合(第一代支架，如圖6a.)，軟管另一端與一根硬塑膠棍固定在一起，以保持垂直向下。但在放置與使用測轉速計上並不方便，為了減少人為實驗誤差，我們改使用智高積木來製作，也拼組了固定轉速計的位置(第二代支架，如圖6b.)。



▲圖6b.

### (四) 風速設定

1. 實驗皆使用吹風機上的最低速，冷風經由軟管輸出後，以風速計測得的平均風速為3.1m/s(如圖7a.)。
2. 竹籤上半部在送風管中的風速測量。(如圖7b.)。



▲圖7a.

▲圖7b.

### (五) 轉速計操作

將反光貼紙(0.9cm x 1.2 cm)大小貼於紙盤圓周的最外緣，按下按鈕，開啟轉速計電源。將紅光(點)投射在反光貼紙上，再按按鈕開始轉速測量，而轉速讀值將顯示於LCD上。(如圖8.)。



▲圖8.轉速測量

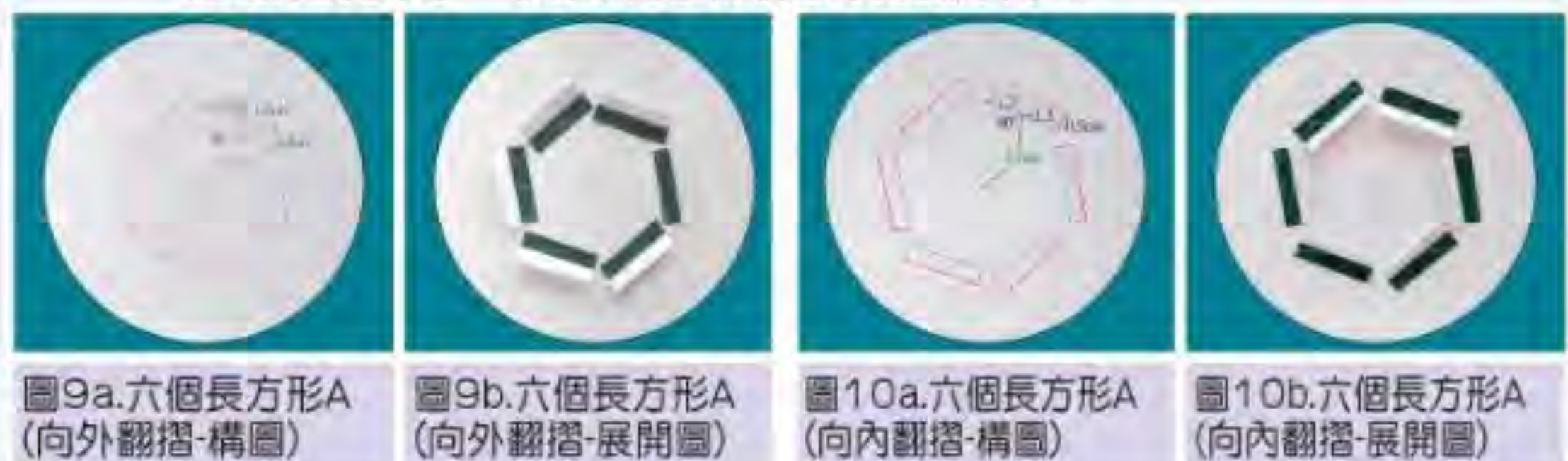
## 四、實驗步驟標準流程：

- (一)在圓形西卡紙內等距畫下翻摺形狀。
- (二)用美工刀將圖形的紅線割開，藍線則朝上翻摺，並用20本自然習作(100g/本)上壓3分鐘後再拿開。
- (三)將竹籤插入紙盤的中心點，即完成了風力環。
- (四)將風力環放置於送風裝置下方，開啟吹風機給予送風。
- (五)使用轉速計，等待10秒後開始記錄轉動數據，每個風力環測量三次每次1分鐘，再將三次測得數據求平均值。

## 五、研究內容

### 研究一、探討紙面的不同翻摺方向對風力環的影響

從文獻探討中，我們發現了紙盤內翻摺紙面的方向有向內朝圓心翻摺，也有向外翻摺，所以我們想先了解哪一種翻摺方向，較有利於風力環的旋轉？

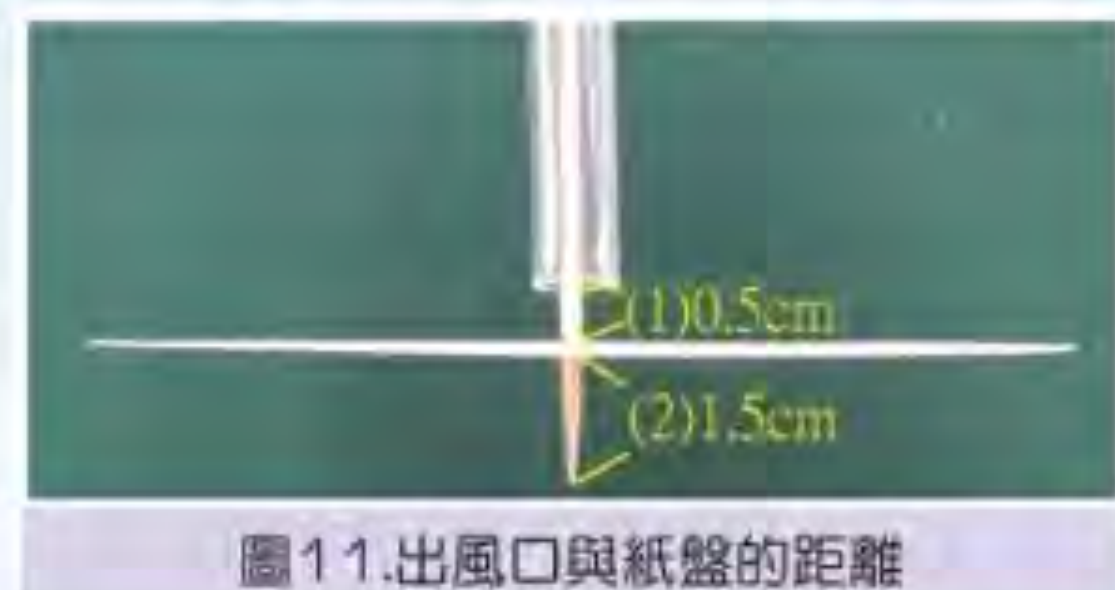


▲圖9a.六個長方形A (向外翻摺-構圖)

▲圖9b.六個長方形A (向外翻摺-展開圖)

▲圖10a.六個長方形A (向內翻摺-構圖)

▲圖10b.六個長方形A (向內翻摺-展開圖)



▲圖11.出風口與紙盤的距離

#### (一) 實驗結果：

表1.紙面(長方形A)的不同翻摺方向對風力環的影響

翻摺方向	向外翻摺	向內翻摺
平均轉速 (rpm)	15.5	49.1
最大轉速 (rpm)	32.1	80.6
最小轉速 (rpm)	0.0	19.3
全距 (rpm)	32.1	61.3
標準差	10.9	17.5

●註1：無法持續旋轉(即最小值為0)。

●註2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

#### (二) 實驗討論：

1. 實驗中觀察到二種風力環的旋轉方向皆為逆時針。
2. 從實驗結果中，我們得到向內翻摺的紙面旋轉速度比向外翻摺的快。
3. 雖然紙面向內翻摺的轉速數值標準差較大，但它能持續旋轉；而紙面向外翻摺的標準差較小，但由於它的最小值為0，表示曾停下後再重新轉動，所以我們選用紙面向內翻摺的作為往後實驗的設定條件。
4. 我們想要改變出風管口與紙盤的距離，了解是否也會影響風力環的轉動？

### 研究二、探討紙盤與出風管口距離對風力環旋轉的影響

#### (一) 實驗結果：

表2.紙盤與出風管口距離對風力環旋轉的影響

紙面與出風管口距離	1cm	1.5cm	2cm
平均轉速 (rpm)	49.9	49.1	24.4
最大轉速 (rpm)	83.2	80.6	43.4
最小轉速 (rpm)	19.3	19.3	8.2
全距 (rpm)	63.9	61.3	35.2
標準差	17.7	17.5	8.3

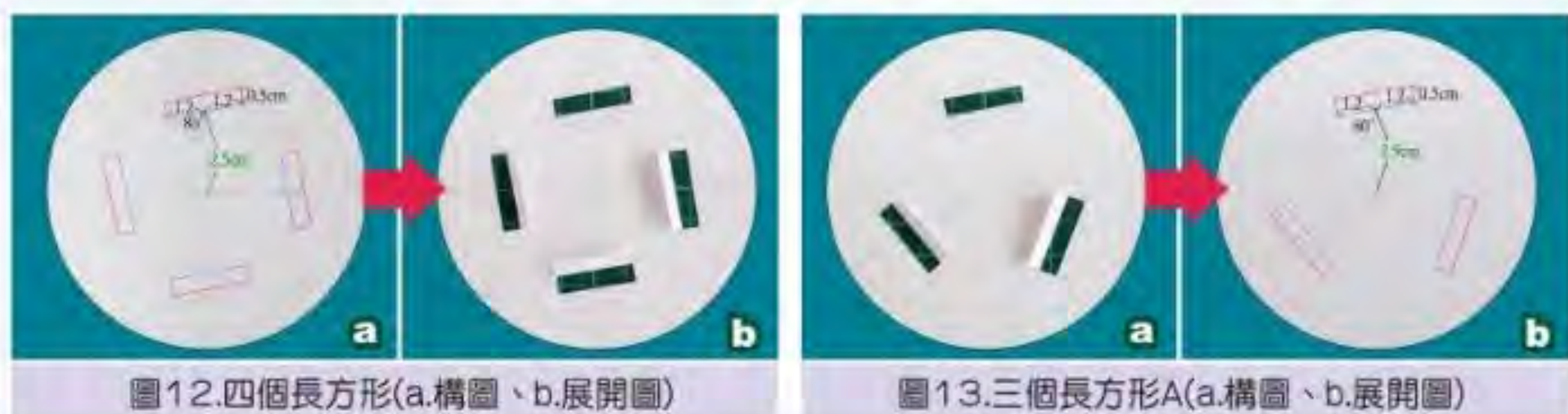
●註1：紙盤與出風管口距離為1.5 cm數據是取自表1-向內翻摺。

●註2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

#### (二) 實驗討論：

1. 從實驗結果得知，風力環旋轉速度以紙盤與出風管口的距離為1cm > 1.5cm > 2cm。
2. 雖然出風管口與紙盤距離1cm的轉速大於1.5cm，但差異不大，而距離1.5cm的全距與標準差均小於1cm距離，所以我們選擇以距離1.5cm為主，作為之後實驗的設定值。

### 研究三、探討紙面翻摺數量對風力環旋轉的影響



#### (一)實驗結果：

表3.翻摺紙面數量對風力環旋轉的影響

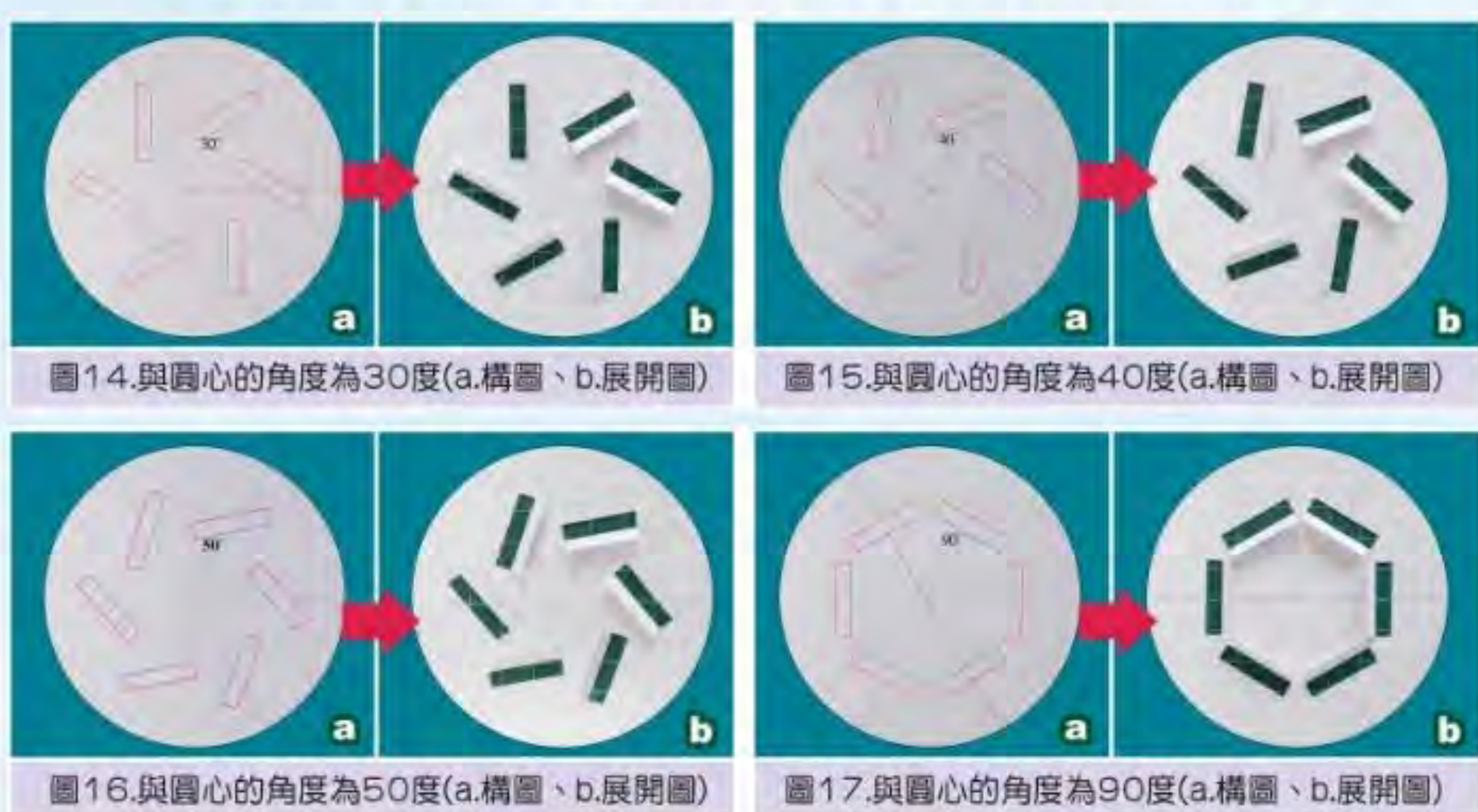
翻摺紙面數量	六個	四個	三個
平均轉速 (rpm)	49.1	3.4	10.2
最大轉速 (rpm)	80.6	69.5	47.6
最小轉速 (rpm)	19.3	0.0	0.0
全距 (rpm)	61.3	69.5	47.6
標準差	17.5	10.4	15.0

- 註1：翻摺數量六個的數據是取自表1—長方形A（向內翻摺）。
- 註2：無法持續旋轉者（即最小值為0）。
- 註3：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

#### (二)實驗討論：

- 1.實驗結果得知，以六個向內翻摺紙面的風力環旋轉最快。
- 2.三個及四個向內翻摺紙面的風力環雖有轉動，但轉轉停停，甚至不轉動了。
- 3.雖然六個向內翻摺紙面的標準差較大，但我們以能持續旋轉者為主，做為往後實驗的翻摺紙面設定個數。

### 研究四、探討翻摺紙面與圓心角度對風力環旋轉的影響



#### (一)實驗結果：

表4.翻摺紙面與圓心角度對風力環旋轉的影響

與圓心角度	30度	40度	50度	80度	90度
平均轉速 (rpm)	58.9	121.2	101.8	49.1	0.0
最大轉速 (rpm)	78.2	138.9	121.5	80.6	0.0
最小轉速 (rpm)	32.0	109.9	81.7	19.3	0.0
全距 (rpm)	46.2	29.0	39.8	61.3	0.0
標準差	9.8	7.6	10.9	17.5	0.0

- 註1：紙面翻摺角度80度的數據是取自表1—長方形A（向內翻摺）。
- 註2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

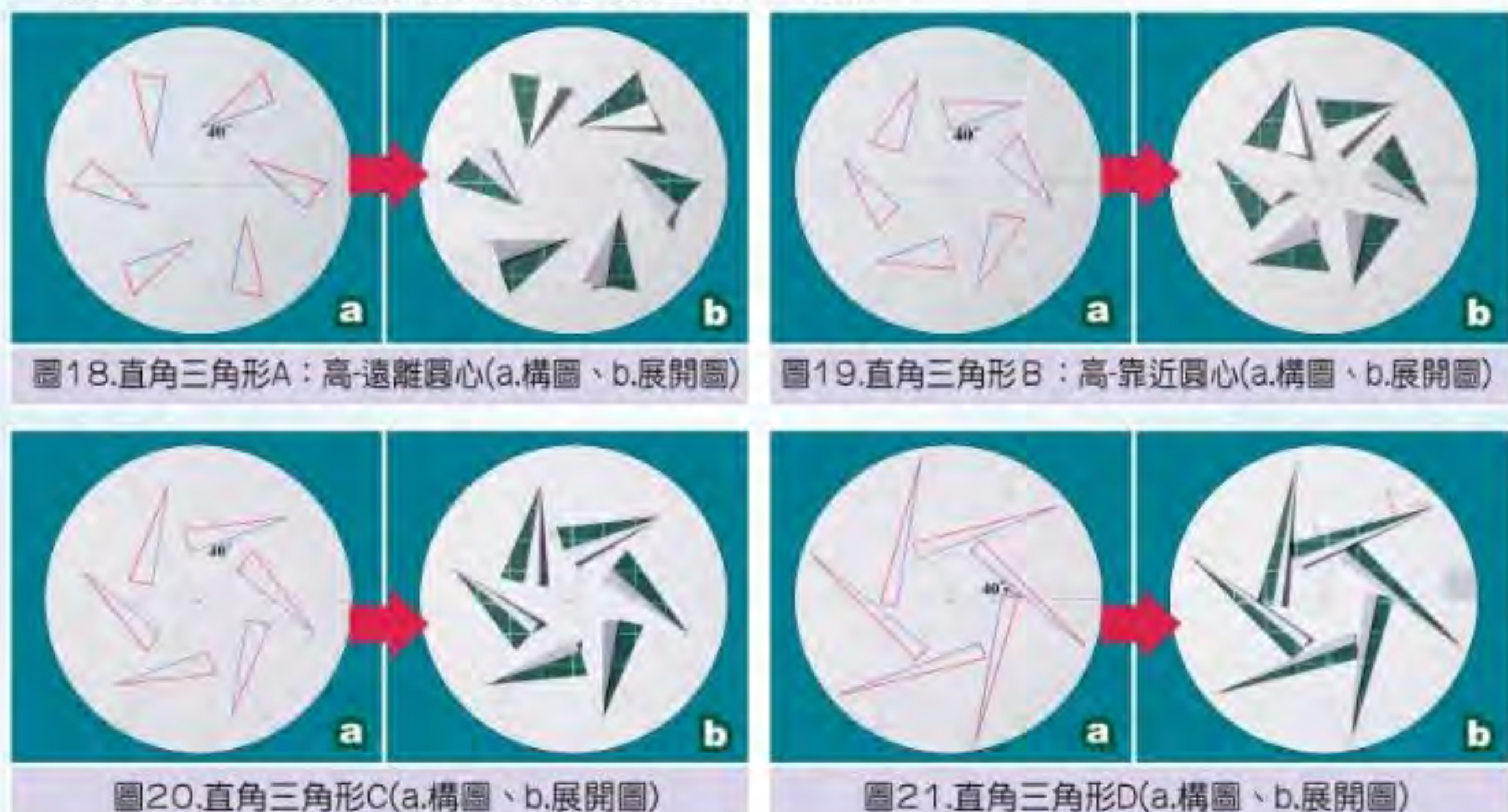
#### (二)實驗討論：

- 1.從實驗結果發現，風力環旋轉情形以翻摺紙面與圓心角度為40度的平均轉速最快（121.2 rpm），也最穩定（標準差最小）。
- 2.翻摺紙面與圓心角度呈30度、40度、50度、80度者，風力環的旋轉方向皆為逆時針。
- 3.翻摺紙面與圓心的角度呈90度者，風力環是無法轉動。
- 4.若改變翻摺紙面的形狀是否也會影響風力環的轉動？我們以翻摺紙面與圓心角度為40度來做進一步的實驗。

### 研究五、探討翻摺紙面的形狀對風力環旋轉的影響

#### 子題一：等面積不同形狀的翻摺紙面

為了試驗哪一種翻摺紙面形狀可以讓風力環轉動快且穩定性佳，所以我們設計了與長方形A等面積的直角三角形。



#### (一)實驗結果：

表5.等面積不同形狀的翻摺紙面對風力環旋轉的影響

紙面翻摺形狀	長方形 A	直角三角形 A	直角三角形 B	直角三角形 C	直角三角形 D
邊長	長 2.4 cm 寬 0.5 cm	底 2.4 cm 高 1 cm	底 2.4 cm 高 1 cm	底 3.2 cm 高 0.75 cm	底 4.8 cm 高 0.5 cm
平均轉速 (rpm)	121.2	72.9	130.6	78.5	89.3
最大轉速 (rpm)	138.9	120.8	161.8	88.8	123.1
最小轉速 (rpm)	109.9	8.5	110.3	56.2	0.0
全距 (rpm)	29.0	112.3	51.5	32.6	123.1
標準差	7.6	32.3	12.5	6.4	32.7

- 註1：翻摺紙面形狀（長方形A）的數據是取自表4—翻摺紙面與圓心角度呈40度的數據。
- 註2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

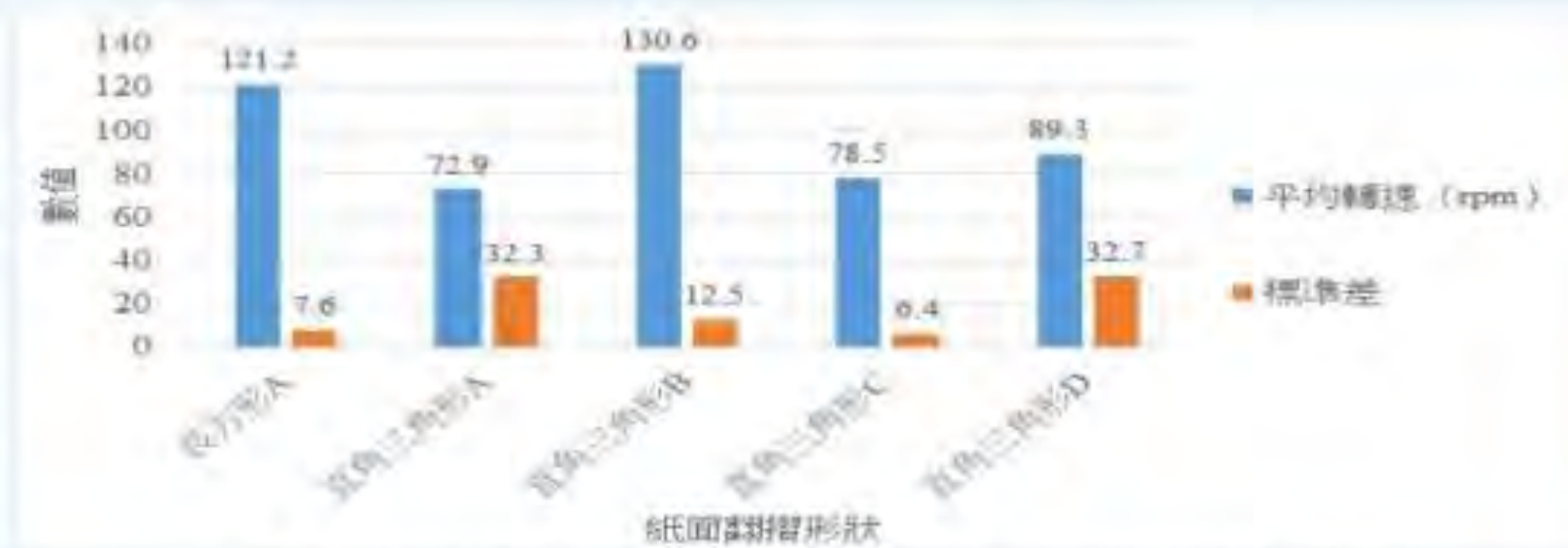


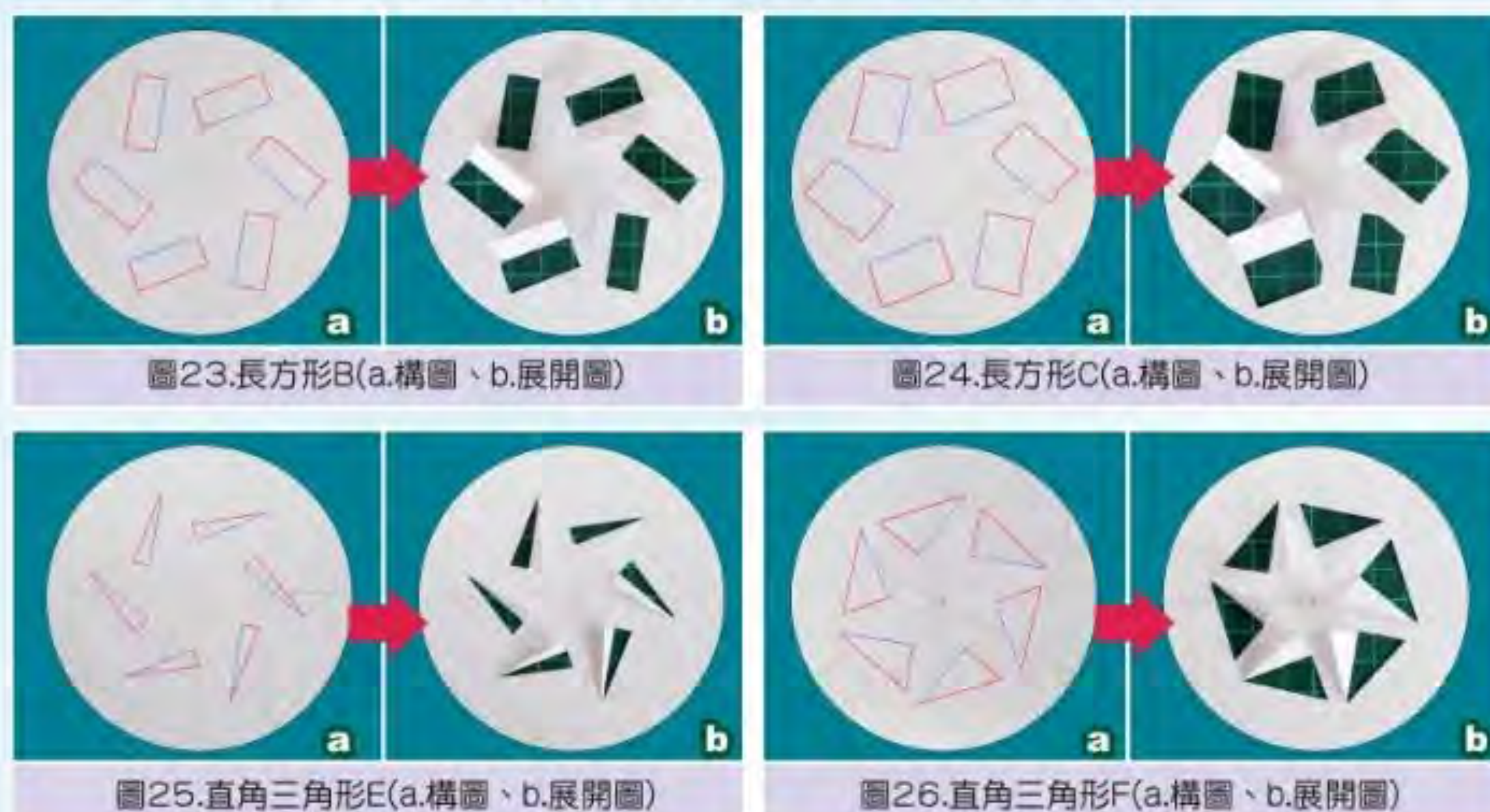
圖22.等面積不同形狀的翻摺紙面對風力環旋轉的影響

#### (二)實驗討論：

- 1.實驗結果發現，相同面積情況下，翻摺紙面形狀的平均旋轉速度為直角三角形B >長方形A >直角三角形D >直角三角形C >直角三角形A，而標準差為直角三角形C <長方形A <直角三角形B <直角三角形A <直角三角形D。
- 2.直角三角形A的平均轉速最慢，我們推測應是與圓心接近處的面積大小有關，風先接觸到較低的紙面會直接越過而不推動紙盤；直角三角形B有較高的紙面提供了較大屏障，受到風的推力而明顯旋轉，所以平均轉速最快。
- 3.直角三角形C的標準差最小，顯示在不快的旋轉速度下，它擁有最高的穩定性。
- 4.實驗中發現直角三角形A、D都有停下來再重新旋轉的情形，所以標準差也會較大，相對穩定性較差。

#### 子題二：相同形狀不同面積的翻摺紙面

為了想要了解風力環轉速是否與圓心接近處的面積大小有關，因此我們想比較相同底長不同高的翻摺紙面對風力環旋轉的情形。從子題一中發現等面積不同邊長的翻摺紙面為長方形A與直角三角形B的平均轉速都有120rpm以上，所以我們將底長固定為2.4cm來探討。



#### (一)實驗結果：

表6.相同底長不同高的翻摺紙面對風力環旋轉的影響

紙面翻摺形狀	長方形 A	長方形 B	長方形 C	直角三角形 E	直角三角形 B	直角三角形 F
邊長	長 2.4 cm 寬 0.5 cm	長 2.4 cm 寬 1 cm	長 2.4 cm 寬 1.5 cm	底 2.4 cm 高 0.5 cm	底 2.4 cm 高 1 cm	底 2.4 cm 高 1.5 cm
面積	1.2 cm <sup>2</sup>	2.4 cm <sup>2</sup>	3.6 cm <sup>2</sup>	0.6 cm <sup>2</sup>	1.2 cm <sup>2</sup>	1.8 cm <sup>2</sup>
平均轉速 (rpm)	121.2	117.9	93.1	100.3	130.6	125.9
最大轉速 (rpm)	138.9	136.1	100.1	125.0	161.8	155.7
最小轉速 (rpm)	109.9	101.1	82.6	77.3	110.3	106.6
全距 (rpm)	29.0	35.0	17.5	47.7	51.5	49.1
標準差	7.6	8.6	4.5	10.4	12.5	12.6

- 註1：圓形紙盤的數據是取自表5—直角三角形B的數據。
- 註2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。



圖27.相同底長不同高的翻摺紙面對風力環旋轉的影響

#### (二)實驗討論：

- 1.長方形中相同底長不同高的翻摺紙面平均轉速為長方形A >長方形B >長方形C。
- 2.直角三角形中相同底長不同高的翻摺紙面平均旋轉速度為直角三角形B >直角三角形F >直角三角形E。
- 3.從討論1和2發現，翻摺紙面與圓心接近處的面積越大，平均轉速不一定越快。在相同底長不同高的翻摺紙面平均轉速又以直角三角形B >長方形A，所以我們發現翻摺紙面的最佳形狀為直角三角形B。
- 4.我們思考如何能讓風力環轉快且穩定呢？若是改變圓形紙盤的外形，是會有什麼不同的情形？

### 研究六、探討不同外形的紙盤對風力環旋轉的影響

圓形的風力環半徑為5cm，面積約為78.5平方公分，要比較不同外形的風力環，彼此間的面積不能相異太大，所以正方形的邊長設定為8.9cm（面積79.21平方公分），比邊長為8.8cm（面積77.44平方公分）更接近半徑5cm圓形的面積，而正三角形邊長為13.5cm，（面積約為78.9平方公分）也較為接近半徑5cm圓形的面積。



圖28.外形為正方形(a.構圖、b.展開圖)

圖29.外形為正三角形(a.構圖、b.展開圖)

### (一)實驗結果：

表7.不同外形的紙盤對風力環旋轉的影響

紙盤外形	圓形	正方形	正三角形
平均轉速 (rpm)	130.6	88.1	75.3
最大轉速 (rpm)	161.8	118.5	127.1
最小轉速 (rpm)	110.3	41.6	33.2
全距 (rpm)	51.5	76.9	93.9
標準差	12.5	18.2	22.5

- 註1：圓形紙盤的數據是取自表5—直角三角形B的數據。
- 註2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

### (二)實驗討論：

- 1.實驗結果發現，風力環的旋轉速度以外形為圓形 > 正方形 > 正三角形。雖外形為圓形的風力環轉速最大，但穩定性最差。
- 2.外形為正方形的風力環轉速及穩定性都比外形為正三角形的好，圓形紙盤因轉速快得多，稍微影響了穩定性（標準差最大）。
- 3.正方形與正三角形的外形皆無法增加風力環的轉速，卻也增添了新鮮感，因轉動起來的效果不同於圓形。
- 4.我們思考如果改變直角三角形B與圓心的距離做改變，結果會是如何呢？

### 研究七、探討翻摺紙面與圓心距離對風力環旋轉的影響

原本想將直角三角形B與圓心的距離再拉近1cm（即與圓心距離為1.5cm），但三角形有重疊情形，所以最多只能拉近0.8cm（即與圓心距離為1.7cm）。



圖30.與圓心距離為1.7cm(a.構圖、b.展開圖) 圖31.與圓心距離為2.5cm(a.構圖、b.展開圖)

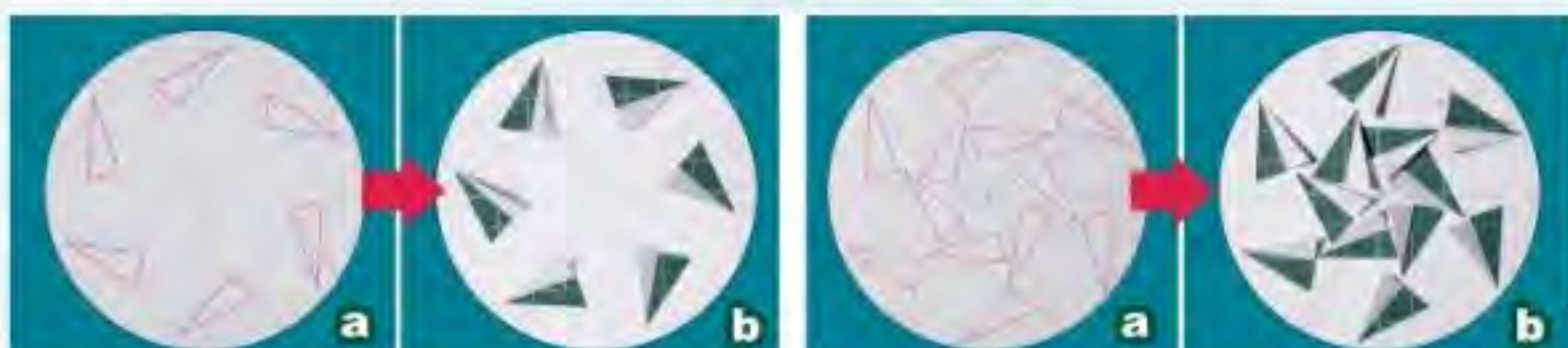


圖32.與圓心距離為3.5cm(a.構圖、b.展開圖) 圖33.雙圈—內圈與圓心距離為1.7cm、外圈與圓心距離為3.5cm(a.構圖、b.展開圖)

### (一)實驗結果：

表8.翻摺紙面與圓心的距離對風力環旋轉的影響

與圓心的距離	1.7cm	2.5cm	3.5cm	1.7cm&3.5cm
平均轉速 (rpm)	157.5	130.6	85.5	189.8
最大轉速 (rpm)	187.1	161.8	101.3	205.2
最小轉速 (rpm)	125.9	110.3	30.1	174.2
全距 (rpm)	61.2	51.5	71.2	31.0
標準差	13.0	12.5	14.9	8.7

- 註1：圓形紙盤的數據是取自表5—直角三角形B的數據。
- 註2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

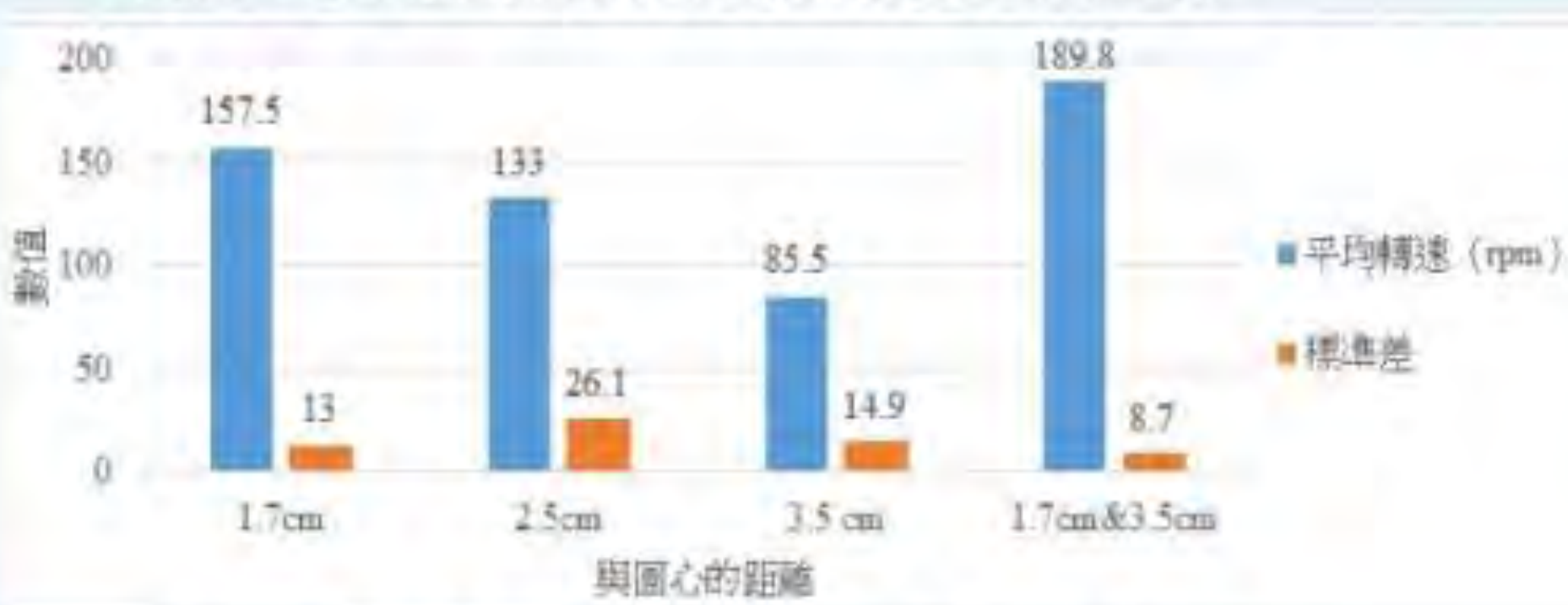


圖34.翻摺紙面與圓心的距離對風力環旋轉的影響

### (二)實驗討論：

- 1.實驗結果發現，直角三角形B的平均旋轉速度與穩定度都是翻摺線與圓心距離為1.7cm&3.5cm > 1.7cm > 2.5cm > 3.5cm。
- 2.翻摺線與圓心距離為1.7cm&3.5cm的風力環是增加了翻摺紙面的數量，所以結果與研究三相同，數量增加，旋轉速度也會加快。

### 研究八、探討竹籤插入紙盤的不同深度對風力環旋轉的影響

我們認為竹籤插入紙盤的深度越深，那麼竹籤上半部在送風管中的長度就會減短，相對的風的阻力也應該會降低。於是我們進行了風速的實驗。

### (一)實驗結果：

表9.竹籤插入紙盤的不同深度對風力環旋轉的影響

深度	1.5cm	3.5cm	6.5cm	1.5cm	3.5cm
圈數	單	單	單	雙	雙
與圓心的距離	1.7cm			1.7cm&3.5cm	
平均風速 (m/s)	2.5	2.8	2.9	2.5	2.8
平均轉速 (rpm)	157.5	175.2	154.4	189.9	196.3
最大轉速 (rpm)	187.1	197.5	175.3	205.2	204.7
最小轉速 (rpm)	125.9	156.4	131.9	174.2	177.2
全距 (rpm)	61.2	41.1	43.4	31.0	27.5
標準差	13.0	6.1	13.1	8.7	5.8

- 註1：深度1.5cm的數據是取自表8—翻摺紙面與圓心距離為1.7cm的數據。
- 註2：標準差越小即表示風力環旋轉的穩定度越好。

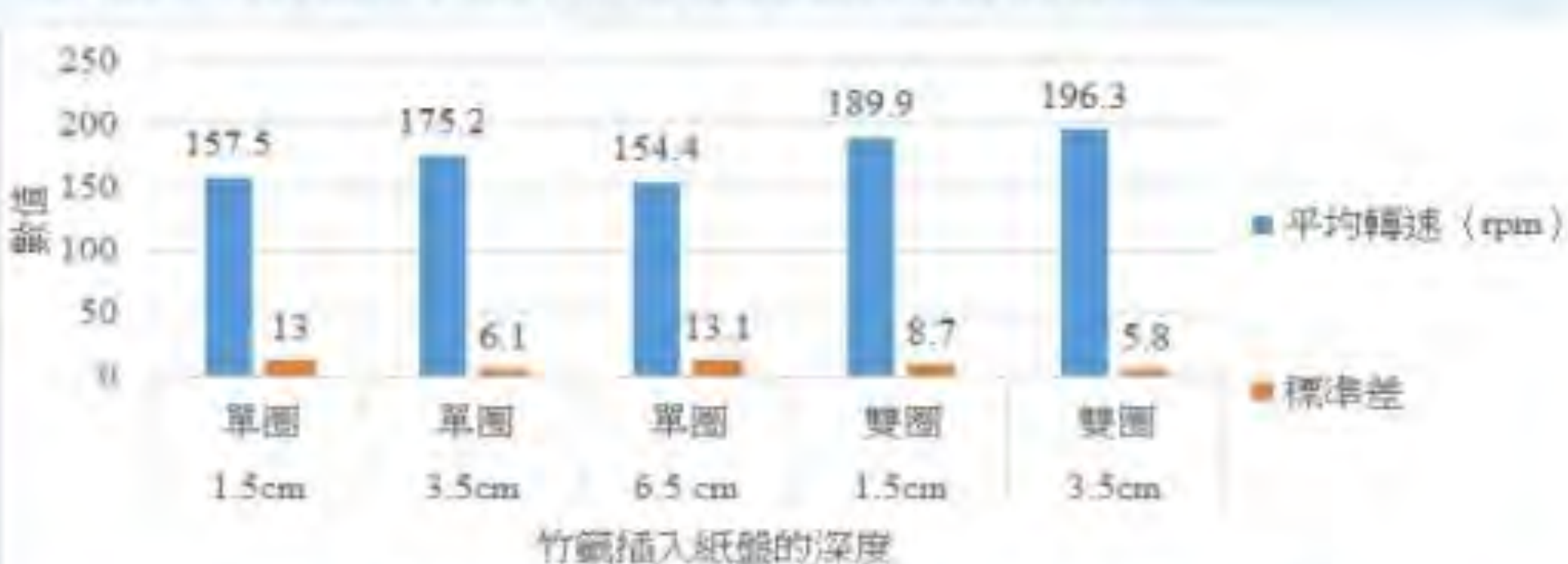


圖35.竹籤插入紙盤的不同深度對風力環旋轉的影響

### (二)實驗討論：

- 1.竹籤插入紙盤的深度越深，那麼竹籤上半部在送風管中的長度就會減少，風速也會增強。

- 2.竹籤插入紙盤深度為6.5cm的平均風速雖然最大，但旋轉速度並不是最快的。在進行深度為6.5cm的實驗時，發現竹籤尖端旋轉的幅度較大，有畫圓的情形。我們推測這是影響轉速的原因。
- 3.風力環平均旋轉速度以竹籤插入紙盤的深度為3.5cm(雙圈) > 1.5cm(雙圈) > 3.5cm(單圈) > 1.5cm(單圈) > 6.5cm(單圈)。
- 4.標準差以竹籤插入紙盤的深度為3.5cm(雙圈) < 3.5cm(單圈) < 1.5cm(雙圈) < 1.5cm(單圈) < 6.5cm(單圈)。

### 研究九、彩繪風力環增加趣味性



圖36a-h：各式彩繪風力環

### (一)實驗結果：

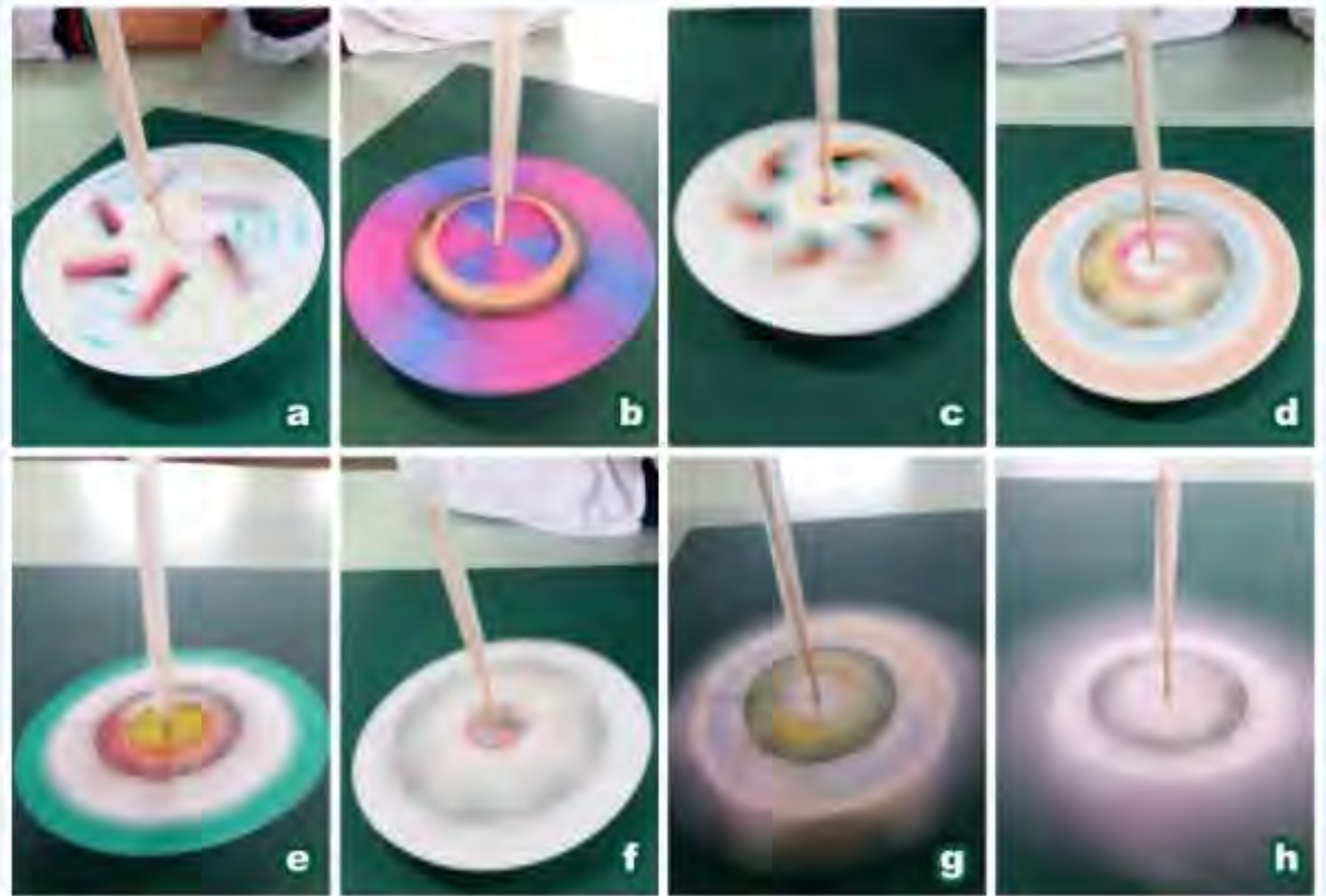


圖37a-h：彩繪風力環旋轉時的情形

### (二)實驗討論：

- 1.彩繪風力環，讓旋轉時更加漂亮。
- 2.正方形與正三角形外形的風力環，雖然在轉速上不及圓形，但在彩繪後遊戲上的旋轉效果更令人驚豔，令人想再設計出更多不同外形的風力環。
- 3.風力環在吹氣玩幾次後容易滑脫竹籤，所以可以在紙盤的中心點塗上白膠或保麗龍膠以作固定。
- 4.我們還想到了一個新玩法，在對著吸管用力吹氣數次後抽出吸管，看誰的風力環持續動最久？這可不是單用力吹氣，就可以的唷！我們發現在一開始吹氣前，要讓風力環站好，竹籤盡量與桌面垂直，用力吹氣後，要快速並小心的抽出吸管，才能持續轉動的久。

## 伍 研究結論

### 一、風力環紙盤：

- (一)向內摺翻摺紙面的風力環平均轉速比向外翻摺的好。
- (二)翻摺紙面的數量越多，旋轉速度越快。
- (三)紙面翻摺線與圓心的角度以40度最佳，且為逆時針方向旋轉；而夾角為90度者，風力環則是無法轉動。
- (四)翻摺紙面的形狀以直角三角形B的平均轉速>長方形A，但標準差卻是直角三角形B>長方形A，表示直角三角形B的旋轉穩定性較差。
- (五)翻摺紙面與圓心接近處的面積越大，平均轉速不一定越快，以靠近圓心的高為1cm且底長為2.4cm的直角三角形B為最佳。
- (六)直角三角形B的翻摺線與圓心距離1.7cm的平均轉速最快，且標準差也最低。
- (七)紙盤外形以圓形>正方形>正三角形。

### 二、出風管口與紙面的距離

- (一)轉速以距離1cm>1.5cm>2cm。
- (二)由於出風管口與紙面距離1cm與1.5cm的轉速僅差0.8rpm，但距離1.5cm的標準差卻小於距離1cm，所以我們以標準差小的為主，作為之後實驗的設定距離。

### 三、竹籤插入紙盤的深度

- (一)竹籤插入紙盤深度越深，竹籤上半部在送風管中的長度就會變短，風速也會增強。
- (二)風力環平均轉速以竹籤插入紙盤的深度為雙圈>單圈。
- (三)標準差以竹籤插入紙盤的深度為3.5cm<1.5cm<6.5cm。

### 四、創意風力環

- (一)彩繪風力環，讓紙盤旋轉時更加漂亮。
- (二)可趣味競賽，看誰的風力環轉得最久。

## 陸 未來研究

- 一、風力環翻摺紙面的其他形狀是否會影響風力環的旋轉。
- 二、風力環的竹籤尖端改成圓珠是否會影響風力環的旋轉。

## 柒 參考資料

- 一、國小自然與生活科技(2016)。第一冊。第三單元看不見的空氣。臺北：康軒出版社。
- 二、國小自然與生活科技(2016)。第五冊。第四單元力與運動。臺北：康軒出版社。
- 三、國小自然與生活科技(2016)。第八冊。第四單元簡單機械。臺北：康軒出版社。
- 四、許良榮(2014)。玩出創意3：77個奇趣科學玩具(頁126-127)。臺北：書泉出版社。
- 五、NTCU科學遊戲實驗室(2017)。風力環。2017年10月2日取自<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-016.html>