

風中舞者（平面招牌的設計與研究）

高小組應用科學科第二名

高雄縣鳳西國民小學

作者：羅士庭、陳君豪、鍾孟廷、陳孟祺

指導教師：林利鏘、王世允

一、研究動機

有一天我和媽媽到鳳山市美商勝家電氣行去購買冷氣機時，突然發現一個左右搖擺的活動招牌。上面寫著『特惠價期間一八折優待』。細看之下，招牌上方以細棉繩綁著，形成一四連桿，居然會左右搖擺。再走近些看個仔細，赫然發現該招牌剛好放置於冷氣出風口下方。在冷氣的吹拂下，這個室內活動招牌彷彿在向過往的行人招手。直到媽媽購買完畢，叫了一聲，我才回過神。一路上還思考著這個問題，回到家仍然百思不得其解，於是到學校請教王老師，展開這次的研究。

二、研究目的

1. 進風角度是否影響擺盪。
2. 吹著點是否影響擺盪。
3. 厚紙板的重量是否影響擺盪。
4. 加上配件後是否影響原厚紙板的動線。
5. 如何才能使厚紙板做來回的直線運動。

三、研究設備及方法

1. 小電扇一台。
2. 中型鼓風機一台。
3. 吊物台兩支。
4. 投影燈一具。
5. 銅扣一包。
6. 記錄紙及格紙數張。
7. 棉線一卷。
8. 厚紙板全開數張。

四、研究內容與方法

（研究一）風如何使厚紙板擺動

《實驗一》厚紙板與風力成90°

我們首先將小電扇放置於長40公分、寬30公分的厚紙板前方50、40、30、20、10公分的位置，量取後斜的角度。

發現：

1. 強風時，其葉片擺動角度大，但擺動幅度小。
2. 距離較遠時，其風吹距較長。而風流成斷續，故葉片擺動幅度大，越接近時其擺動幅度小，頻率越快。

（表一）風力距離與斜角

斜角 風力	距離 50 cm	40 cm	30 cm	20 cm	10 cm	平均
大	30-50	36-55	46-60	50-65	55-67	44-60
中	25-40	27-46	30-47	35-45	38-48	31-38
小	18-26	23-32	25-35	27-34	30-36	25-33

《實驗二》厚紙板成一斜角度

由於實驗用的水平與測斜角用的量角器，並不能測出因受側風力葉片的擺幅，因此我們先在葉片正下方，放一紀錄用格紙，上方放置投影燈，利用投影法使我們更容易的讀出因側風力而產生的角度擺幅。

發現：

1. 當我們把先前準備的小電扇啓動，調整傾斜，想找出入風角，才發現我們的小電扇風力會擴散，不能集中。
2. 而葉片只能以後斜角做往後傾斜的動作。

《實驗三》鼓風機的風力

為改善《實驗二》中的缺點，使風力不會擴散，而能集中。我們購買了一台鼓風機，它有風力較大且較集中的優點。

發現：

1. 風力較大且較集中。
2. 在鼓風機吹動下，厚紙板有些後斜，有些左右擺盪。

《實驗四》四條繩固定

我們在厚紙板的四個端點釘上銅扣，如（圖二）所示，而鼓風機與厚紙

板成90°。觀察其厚紙板的運動方式。

發現：

1. 由於鼓風機的風成90°角進入，風力完全由厚紙板承受。
2. 不能左右擺盪。
3. 只能做上下弧狀的擺盪。

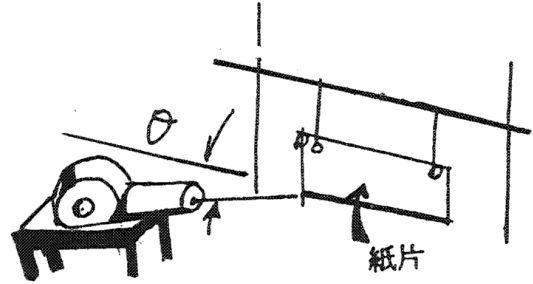


圖 1 鼓風機角度示意圖

(研究二) 吹著點是否影響擺盪

根據(研究一)，《實驗一》到《實驗四》得知，隨著厚紙板上吹著點的不同，則厚紙板向斜角及開始起擺的時間均不相同。

《實驗一》水平與垂直的吹著點

我們以長36公分、24公分的厚紙板，每2公分畫一格按編號(1.1)表

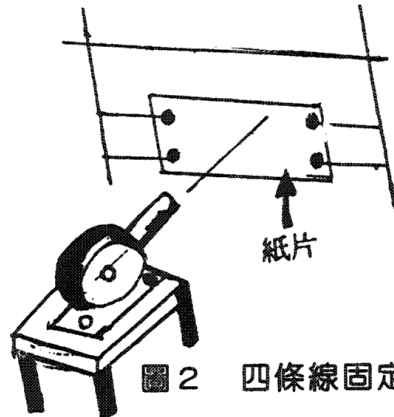


圖 2 四條線固定

(第一行，第一列)。為使鼓風機的風力更加集中，我們把一空寶特瓶底部切掉，用熱熔膠固定於鼓風機出口。為了方便測吹著點位置，我們也在鼓風機出口設計中心測量線。

(表 2) 第一列吹著點與傾角

點 區別/角度		點															
		1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	18-1
水 平 角	左1	8	8.5	10	15	17	17.5	18	19	17	16.5	15	13	×	×	×	×
	右2	5	6	6.5	8	10	11	12	14	12	10	8	7.5	×	×	×	×
側 斜 角	側1	25	26	27	30	32	32.5	35	32	30	28	25	23	×	×	×	×
	側2	20	22	24	25	25.5	27	28	27	25	23	21	20	×	×	×	×

(表 3) 第二列吹著點與傾角

點 區別/角度		點															
		1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2	9-2	10-2	12-2	13-2	14-2	15-2	16-2	18-2
水 平 角	左1	9	9.5	11	12	16	19	20	22	24	22	20	16	15	×	×	×
	右2	6	7	7.5	8	9	12	13	14	17	14	12	9	7	×	×	×
側 斜 角	側1	30	32	34	35	37	39	41	45	46	40	38	34	30	×	×	×
	側2	24	24.5	26	27	30	31	32.5	34	35	32	30	27	23	×	×	×

(表4) 第三列吹著點與傾角

區別	點 角度	1-3	2-3	3-3	4-3	5-3	6-3	7-3	8-3	9-3	10-3	12-3	13-3	14-3	15-3	16-3	18-3
		水平角	左1	9.5	10	12	14	15	19	22	24	25	24	22	20	14	×
	右2	7	7.5	8	9	10	10.5	12	14	16	18	12	10	7	×	×	×
側斜角	側1	32	35	37	40	42	43	43.5	45	46	47	44	40	38	×	×	×
	側2	26	28	30	31	34	35	35.5	36	36.5	38	35	31	25	×	×	×

(表5) 第四列吹著點與傾角

區別	點 角度	1-4	2-4	3-4	4-4	5-4	6-4	7-4	8-4	9-4	10-4	12-4	13-4	14-4	15-4	16-4	18-4
		水平角	左1	12	14	14.5	16	19	20	23	25	27	23	20	18	14	×
	右2	8	9	9.5	10	10.5	12	13	15	16	14	12	10	8	×	×	×
側斜角	側1	35	37	37.5	39	39.5	42	44	46	48	46	44	40	37	×	×	×
	側2	27	29	30	32	32.5	34	35	36	36.5	34	32	30	26	×	×	×

(表6) 第五列吹著點與傾角

區別	點 角度	1-5	2-5	3-5	4-5	5-5	6-5	7-5	8-5	9-5	10-5	12-5	13-5	14-5	15-5	16-5	18-5
		水平角	左1	12	14	14.5	16	19	20	23	25	28	25	23	20	14	×
	右2	8	9	10	11	11.5	13	14	16	17	15	13	10	8	×	×	×
側斜角	側1	35	37.5	38	39	42	42.5	45	49	51	48	45	40	35	×	×	×
	側2	25	26	29	30	32	33	34	35	40	36	32	30	26	×	×	×

(表7) 第六列吹著點與傾角

區別	點 角度	1-8	2-8	3-8	4-8	5-8	6-8	7-8	8-8	9-8	10-8	12-8	13-8	14-8	15-8	16-8	18-8
		水平角	左1	14	16	16.5	19	23	25	27	36	39	35	34	30	21	×
	右2	10	12	14	15	15.5	16	18	20	25	20	18	16	12	×	×	×
側斜角	側1	42	43	46	47	49	52	55	57	59	55	52	46	42	×	×	×
	側2	31	34	34	36	37	39	40	42	44	40	38	36	32	×	×	×

(表8) 第七列吹著點與傾角

區別	點 角度	1-	2-	3-	4-	5-	6-	7-	8-	9-	10-	12-	13-	14-	15-	16-	18-
		水平角	左1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	右2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
側斜角	側1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	側2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

發現：

- (1)我們設計鼓風機到試驗厚紙板中心距離是80公分，角度是30度。
- (2)在我們使用試驗厚紙板36公分×24公分，如果在後半段的格子時，厚紙板搖晃的幅度成不規則形狀。
- (3)在10列以後的格子，吹動時無法起擺。我們探究原因，原來厚紙板往後斜時，則第10、11、12列是懸空狀態，吹的風力毫無作用。
- (4)厚紙板的起擺原因是由於風力使厚紙板成某一傾角來承受風力，但由於左繩的拉力，使厚紙板又呈現一直線，推想其運動軌跡是倒八字路徑。
- (5)其水平方向是以5、6、7、8列最佳。
- (6)其垂直方向是以4、5、6、7行最佳。

《實驗二》厚紙板舞動路線

(說明一) 由水平夾角的關係

我們仍然採取鼓風機到試驗厚紙板中心距離是80公分，角度是20度，入風口全開，起擺時間以一分鐘為限，一分鐘到後再檢查其水平夾角。

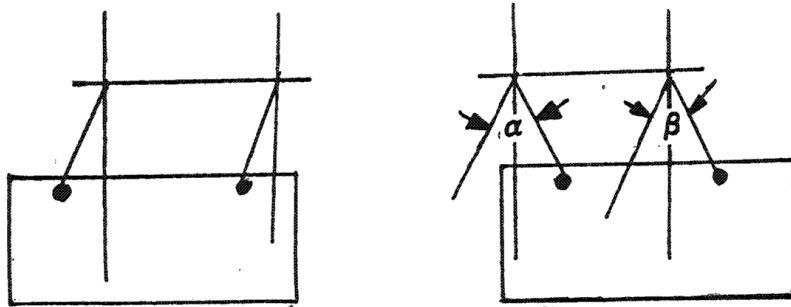


圖3 厚紙板夾角

判斷：

- (1)由於左邊厚紙板先受風力，使左繩受力而做擺盪。
- (2)照水平推力而言，應該左右 α 角等於 β 角。

(3)由上俯視其厚紙板的斜角，左端向後斜的角度比右端大。因而造成由前觀察時 α 角大於 β 角。

(表9) 厚紙板的水平夾角

單位：度

次角數		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
水平角	α 角	21	20.5	22	21	20	21	20.5	22	20	21	20.9
	β 角	15	14.5	16	13.5	14	15	15.5	16	15	14.5	14.9

(說明二) 由側角的關係

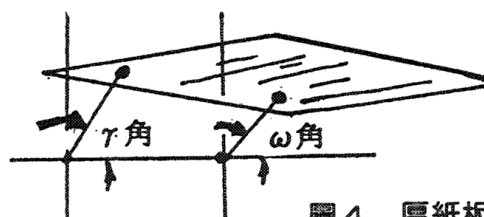


圖4 厚紙板的側斜角

(表 10) 厚紙板的側斜角

單位：度

次數 角度		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
側斜角	γ 角	65	64	65	64.5	65	65	65	63	65	64.5	64.5
	ω 角	45	43	45	44	43	44	45	44	45	44	44.2

判斷：

- (1)由(表十)中厚紙板的側斜角 γ 角大於 ω 角，可以知道厚紙板左端左邊先受風力向後傾斜，有些趨近於與風力方向成垂直方向。
- (2)而這種情況一直維持到厚紙板中心，此時厚紙板繼續向後傾斜，一直到前端的重力大於風力，此時前端向前恢復，這種反復倒八字的擺盪運動。
- (3)由於厚紙板與鼓風機成一角度，使之產生水平力與垂直力，水平力使厚紙板向水平方向移動，垂直力使厚紙板向後斜。

(說明三) 由投影線來看擺幅

我們以一高直立架設置一光源，再把厚紙板的影子調整歸零，而厚紙板正下方貼一方格紙，由於風力的擺盪使厚紙板有很明顯擺盪的影子。我們把最高位置與最低位置記錄下來。(鼓風機到試驗厚紙板中心距離是80公分，角度是15度)

(表 11) 入風角、水平角與擺幅

單位：度

入風角 擺幅角		10	12	14	16	18	20	22	24	25	30
水平角	α 角	16	17	19	20.5	22	22	24	25	30	35
	β 角	9	10	12	12.5	14	15	17	17.5	18	20
擺幅	A 幅	10	12	13.5	15	16	17	20	21	22.5	24
	B 幅	8	9	10.5	11	11.5	13	14.5	16	18	20

發現：

- (1)其動作是1端後仰，接受風源，瞬間往後移且往右擺盪，使厚紙板中心位置偏離。
- (2)當厚紙板重心往後，此時造成厚紙板的斜角，整個厚紙板重力一部分是由兩條繩支持，一

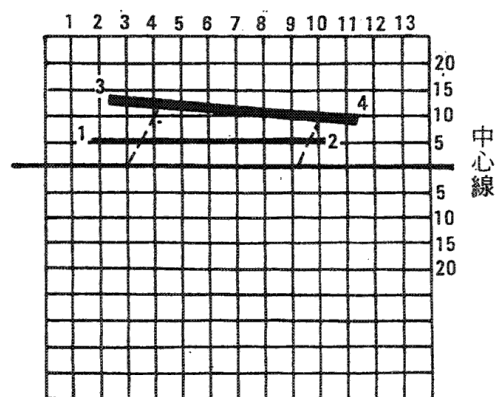




圖 5 擺幅示意圖

部分是由風力支持。

(3)當持續不斷的風使厚紙板由正斜角變為負斜角，此時形成厚紙板左重右輕（由於風支點往後移），左端往下傾，即往下擺盪。

(4)此時A擺幅及B擺幅其擺盪路徑是一傾斜的8字，A擺幅是，B擺幅是。A擺幅與B擺幅不只是方向的不同，且A端最大值也比B端大些。

(研究三) 厚紙板的輕重是否影響擺動

綜合觀察由一厚紙板，在受風力下其擺盪路徑是八字形。而整片厚紙板並非直線性的橫移。因此我探討為何厚紙板會往後移動，是不是太輕？如何才能使厚紙板只做水平擺動。

《實驗一》螺帽數對擺動的影響

我們1號板，長45公分寬30公分做基本模型，再測量水平角、側斜角、擺幅。入風角15度，風距60公分，起擺時間為50秒。

發現：

- (1)以膠帶裝7、8粒螺帽時由於太重，鼓風機的風力，只是微微向後斜。
- (2)以相同的秒數時，來觀察其擺動，較多的螺帽較重，完全起擺的時間較長。所以在50秒時，測量其擺動，較重的角度及擺幅較小。

(表 1 2) 配重與擺幅

區分		數目		角度							
		1	2	3	4	5	6	7	8		
水平角	α 角	24	20	18	17	16	12	×	×		
	β 角	18	16	15	14	12	10	×	×		
側斜角	γ 角	62	60	55	54	50	48	×	×		
	ω 角	48	45	42	40	38	35	×	×		
擺幅	A 幅	24	22	20	18	17	14	×	×		
	B 幅	21	20	18	16	14	10	×	×		

《實驗二》螺帽放的位置是否影響擺動

我們依據前面實驗得知，重量對厚紙板的擺動有密切的關係，但與擺放的位置也有關嗎？以下是我們的實驗以3粒螺帽做基準。

(表 1 3) 位置與擺動

區別 \ 位置		1	2	3	4	5	6	7
水平角	α 角	18	19	22	24	24	25	26
	β 角	17	19.5	20	20	20	21	22
側斜角	γ 角	42	50	58	62	60	58	57
	ω 角	35	40	42	50	48	45	43
擺幅	A 幅	10	13	24	22	23	20	21
	B 幅	6	8	11	10	11	10	10

發現：

(1)由於風力由左斜15角度進來，且吹著點以(6, 7)為基準，風向不變。

A. 水平角以6、7號最大，最小為1、2號。

B. 側斜角以4、5號最大，最小為1號。

C. 擺幅以3號最大，最小為1號。

D. 起動時間以7號位置最快，3號位置最慢。

(2)由於7號位置重心在後方，厚紙板左端較輕，受風面的關係，故起動時間快，且水平角也大。

(3)如果配重在3號位置時，形成下端較輕，風力足以掀起而使擺幅加大。

(4)但不論是7號位置或4號位置配重，均容易形成風支點在厚紙板上游動，使厚紙板在風力下成倒8字形的擺盪。

(研究四) 厚紙板配轉動物體有擺動效果嗎？

由於擺動出現不僅有左右擺動，且每一點的動線均成平滑的倒八字封閉曲線。因此我們提出大膽的假設：是由於受到斜面貫進的風力，形成垂直力與水平力，下盪時或上擺時是由於厚紙板的慣性影響。也因此突發奇想，把厚紙板挖空加上轉動配件。是否可完全左右擺盪動作。

《實驗一》挖空的厚紙板

我們構想：既然風力可使厚紙板後擺。如果我們以切斷風力繼續作用在厚紙板上，是否可停止厚紙板後擺動作。又可使厚紙板最後速度等於零之下，回復往前盪的動作。

我們以第一號厚紙板同重(加配重)。

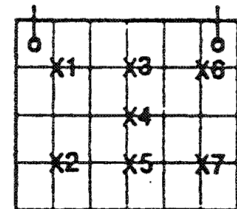


圖 6 螺帽位置

鼓風機到厚紙板中心距離為60公分。

(表 15) 挖空不同位置的擺動

區別	位置 角度	空 1	空 2	空 3	空 4	空 5
		水平角	α 角	27	28	30
	β 角	16	17	17	16	17
側斜角	γ 角	64	62	65	64	60
	ω 角	49	48	50	48	45
擺幅	A 幅	26	26.5	28	27	26
	B 幅	23	24	18	20	22

發現：

- (1)由於厚紙板挖空後。風力吹著點在A點。由於風的水平力使厚紙板上擺，當風力和厚紙板上擺所

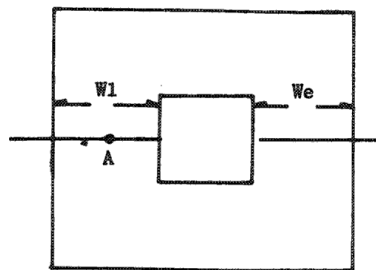


圖 8 厚紙板挖空示意圖

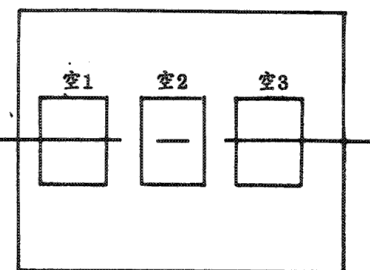


圖 9 不同位置的挖空

產生的傾斜的重力平衡，及風作用力的消失，使得厚紙板產生下邊。

- (2)由於厚紙板挖空，兩旁的寬度 (W) 減少，強度減少，因此厚紙板呈現蛇形。
- (3)由於風力由挖空部分穿過，所造成氣流的真空，形成壓力減低，致使厚紙板做蛇形游動。
- (4)並沒有造成我們預期的目標，做平行的左右移動。

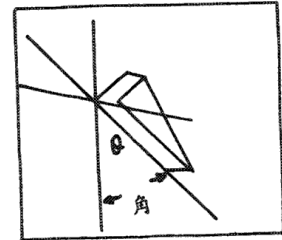
《實驗二》加一固定葉片

我們從開始研究就發現，使厚紙板產生左右水平方向擺盪的力是水平推力，而水平推力的產生是由於厚紙板與鼓風機的風力成一入風角。而設計一個固定浮貼葉片，讓水平吹進的風產生水平推力，而不要產生垂直力，使厚紙板往後傾斜。

在設計葉片時，要特別注意葉片與厚紙板的平衡。在厚紙板的背面再加以配重，使其在風力作用下厚紙板不會失去平衡。

(表 1 6) 固定葉片傾角與擺動

區別 \ 位置		0°	10°	20°	30°	40°
水平角	α 角	33	34	36	35	32
	β 角	20	24	26	28	26
側斜角	γ 角	30	31	32	35	32
	ω 角	26	25	25	30	28
擺幅	A 幅	26	24	16	13	12
	B 幅	15	14	11	10	10



10 固定葉片

發現：

- (1) 鼓風機入風角是0度，即與厚紙板平行。由於最靠近A端的吊繩，與B端的吊繩在擺盪中形成不同的夾角。A端較大，B端較小。
- (2) 由於成0度時，雖然向右的水平推力大，但回盪時也受到風力的影響。以水平角而言，固定葉片成30度時最佳。
- (3) 以擺幅而言，固定葉片斜角大，回盪順暢度較佳，所以其擺幅A幅B幅差距較小。

《實驗三》旋轉式葉片

由於《實驗二》固定葉片產生了回盪的風阻，水平擺盪不佳，我們大膽假設如果葉片能自由的轉動，那麼氣流就不致於阻塞於葉片前。同時也利用葉片旋轉的離心力來做擺盪。

(表 1 7) 旋轉間斷式葉片與擺動

區別 \ 位置		0°	5°	10°	15°	20°
水平角	α 角	36	35	32	32	不良
	β 角	27	26	24	24	不良
側斜角	γ 角	×	×	×	×	×
	ω 角	×	×	×	×	×
擺幅	A 幅	×	×	×	×	×
	B 幅	×	×	×	×	×

發現：

- (1) 水平角葉片旋轉成20度時，由於要克服葉片下墜

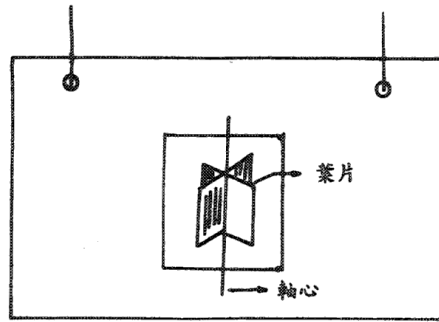


圖 1.1 旋轉葉片示意圖

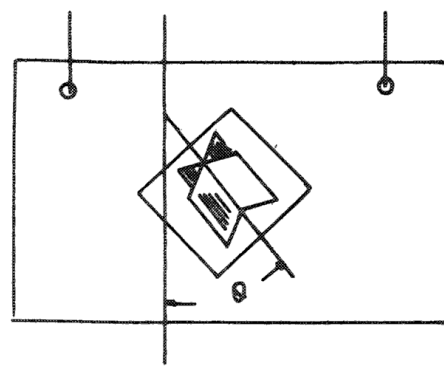


圖 1.2 旋轉葉片傾斜

的旋轉扭距，故旋轉不良。

- (2) 其他側斜角及擺幅，由於葉片旋轉的離心力並非是單向切線速度，所以厚紙板擺盪成蛇形。
- (3) 尤其是挖空厚紙板蛇形擺盪現象更明顯。

《實驗四》旋轉間斷式葉片

在《實驗三》中我們了解到離心力會使厚紙板左右擺盪，而造成的蛇形現象。是否可以利用間斷式葉片來改善這種缺點呢？

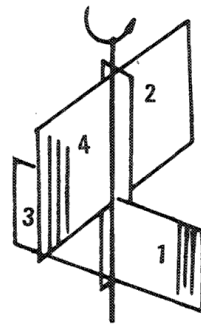


圖 1.3 旋轉間斷式葉片

發現：

- (1) 由於葉片成180度，起動時必須用手撥弄一下才能起動。
- (2) 起動後旋轉瞬間離心力最大。當風力使葉片（1）成水平時，尚餘離心力使厚紙板餘盪，到葉片（3）能吹到風為止，再加速。
- (3) 此時厚紙板擺盪成間接式。蛇形現象沒有全葉片時抖得那樣厲害。

五、討論與研究

- (一) (研究一) 中《實驗一》風力與厚紙板成90度時，風力越大，擺動角度越大。
《實驗二》中由於家用電扇風力較擴散，不能集中。《實驗三》鼓風機風力較為集中，厚紙板與風力成一斜角，厚紙板則可左右擺動。《實驗四》中得知四端固定後，風力由正面吹時，厚紙板上下振盪。
- (二) (研究二) 中《實驗一》得知，風力的吹著點在厚紙板後半段時，厚紙板成負傾角，故不能移動。吹著點在10列後時，由於厚紙板向後傾斜，事實上風著點不在厚紙板上，當然厚紙板不動。
◎由《實驗二》中得知，風力從左邊進入，所以左端的 α 角比 β 角大。而側斜角 γ 角比 β 角大。爲了探討厚紙板是否水平移動？我們利用投影原理判定其動路是倒八字。

- (三)◎由《研究四》中《實驗一》得知，挖空後的厚紙板，雖能中斷接觸力，但也會造成厚紙板左右搖晃現象。
- ◎在《實驗二》中加一固定葉片使水平推力增加，但回程的風阻也相對增加。
- ◎在《實驗三》中加一旋轉葉片，也同時造成厚紙板兩端的寬度減少，強度減弱。因此葉片轉動時所造成的離心力使厚紙板成蛇形左右擺動。
- ◎在《實驗四》中得知，旋轉間斷式葉片雖有減少抖動及蛇形的頻率，但還是不能使厚紙板水平移動。
- (四)◎由《研究五》《實驗一》中得知，配重可得到大的反衝力，但起動較慢，入風角較大時，也可得較大角度。
- ◎由《實驗二》中得知，滾動溝槽式槽內的鉛球雖有穩定效果，但反衝也大。
- ◎在《實驗三》中得知，導板式厚紙板的（圖23）、（圖24）、（圖25）都可以得到較佳水平移動。尤其是在起動後，把入風角調小，可以得到較小的擺幅。

六、結 論

- (1)我們抓住使厚紙板產生擺動的一些因素，加以整合，抽絲剝繭的去改善，針對實驗中缺失加以改良，終於理出為何厚紙板會左右擺動。
- (2)我偶然中發現的一個小現象，在仔細的探究之下，才知道其中包含了如此深奧的原理。要不是父母不斷的鼓勵，王老師的指導、協助之下，恐怕我們老早就放棄了。
- (3)這項平面式活動招牌的研究的成果，是我們花費了將近五個月辛苦研究的結晶。其中的酸甜苦辣，真不知從何說起。但所有成員都相信，從其中體會出研究方法的一小步，是我們日後從事其他工作的一大步。

七、參考資料

- (1)復文科學圖鑑 (2)小牛頓雜誌 (3)大英百科全書

評 語

利用簡單的道具，研究招牌水平搖動的現象，對高小的學生而言，取材甚佳。整個研究過程對影響招牌擺動變數的掌握也很完整，充份發揮了讓學生動手做的精神，作品的原創性、完整性和思考程序均佳。參與研究的同學也都很投入，表達能力亦佳。