

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

第三名

080114

風羽無阻—戶外低風阻羽球研究之初探

學校名稱：高雄市新興區信義國民小學

作者：	指導老師：
小六 張晉誠	林宇涵
小六 吳宗澈	胡益銘
小六 林昱宏	
小六 鄭詩樺	
小六 洪瑋妘	
小四 朱冠達	

關鍵詞：羽球、風阻

摘要

在球場缺乏的小學校園中，我們常看到許多同學在戶外打羽球，但打著打著，卻會因風力的因素使得球偏移難打。為此我們想研究，什麼造形的羽球與塑膠球能有較低的風阻，打起來比較不會受影響呢？我們嘗試了剪出各種造型的羽球與塑膠球，在室內營造出逆風、順風及側風的環境，測量它們受風後的位移程度，來瞭解什麼樣的球比較不怕風吹，並且在垂直風洞中驗證我們的實驗結果。我們得到的結論是，若想降低羽球的風阻，可以朝將球的重量加重、然後採對稱的剪法減少大部份羽毛面積這個方向去嘗試，未來還可加入改變羽翼直徑的做法來發展新型的羽球。

壹、研究動機

羽球在我們學校是相當風行的運動，即使是短短的下課十分鐘，大家也都會拿著球拍奔向球場打球。但學校的球場有限，大多數搶不到球場的人，就會在學校的空地上打，即使沒有網子、沒有場地線，也一樣玩得很開心，除了那個最大的問題——風。戶外的風總是捉摸不定，有時強，有時弱；有時從旁邊吹，有時從正面來。打得到球的人，如果不是戴資穎，大概就是能像諸葛孔明一樣預測風向的人吧？這讓我們想到了，如果能夠研究出一款適合在室外打，不易受到風力影響的羽球，這樣大家下課時就不用再搶球場。而且如果能推廣出去，羽球也能更適合全家大小在外面的公園一起同樂，不會受到場地的限制。

貳、研究目的

- 一、分析市售羽球與塑膠球之差異。
- 二、製作羽球發球機。
- 三、探討羽毛外型對於羽球飛行能力之影響。
- 四、探討塑膠羽外型對於塑膠球飛行能力之影響。
- 五、研究羽球在垂直風洞中的旋轉情形。

參、研究設備及器材

自製發球機	松木條、鐵釘、彈簧鉸鍊、不要的羽球拍、白鐵水管固定夾、 塑膠水管固定夾
空壓發球機	9L 空氣壓縮機
羽球	高級鴨毛羽球、塑膠球、低風阻塑膠球
其他器材	油土、風速計、5m 捲尺、50m 捲尺、工業型電風扇、延長線、塑膠瓦 楞板、吸管、縫衣針線

肆、文獻探討

一、戶外低風阻羽球相關產品之蒐集：

一般羽球的設計，只適合用於無風之室內場地。我們在構想要研究出改良適合用於戶外的低風阻羽球前，先試著搜尋了一下是否已有相關產品。

我們在網路上發現有一款名稱為「快速羽球」的產品，英文為「Speedminton」(如圖 1)，標榜是在戶外進行的羽球運動，其尼龍塑膠球不怕風吹，並且早在 2014 年左右就開始有人引進台灣並推廣了。聽起來跟我們想要達成的目的很像，那為什麼我們幾乎沒有看到戶外有人在玩，或者是有體育用品社賣這款產品呢？經討論後發現，此款快速羽球並不是使用原本一般的羽毛球拍來打的，而是用比較類似於網球的球拍，然後兩人站的距離比羽球的場地更遠，中間沒有架球網，然後來回擊球，規則可以說完全跟羽球不同，是一項新的運動。但對於一般想要輕鬆打打羽球的人來說，這款球的速度太快，且需要更大的場地，也不能拿原本的羽球拍來使用，因此跟我們想在戶外打一般羽球的初衷並不相同，更加深了我們想研究，適合在有限空間中讓大眾打的低風阻戶外羽球的念頭。不過快速羽球也不是完全與我們的研究無關，我們從網路上的介紹影片得知，快速羽球的尼龍球本身重量較重，長度也較一般羽球短，且球頭還有孔洞可讓空氣穿透，這些都是啟發我們在思考如何改良現有羽球的風阻時能夠做為參考的要素。

另外我們在選購作為研究材料的羽球時，發現有款名為「戶外用塑膠羽毛球」的產品，內為一組三顆顏色不同的球（如圖 2），外表與一般塑膠球無異，但標榜這三顆球

能適合在戶外不同強弱的風中進行遊玩。這吸引了我們的注意，是否它真的能有抗風效果，又為什麼它能夠有不同程度的抗風效果呢？決定也將其納入我們的研究對象之中，想分析看看它與一般塑膠球的差異，並作為低風阻羽球的參考之一。

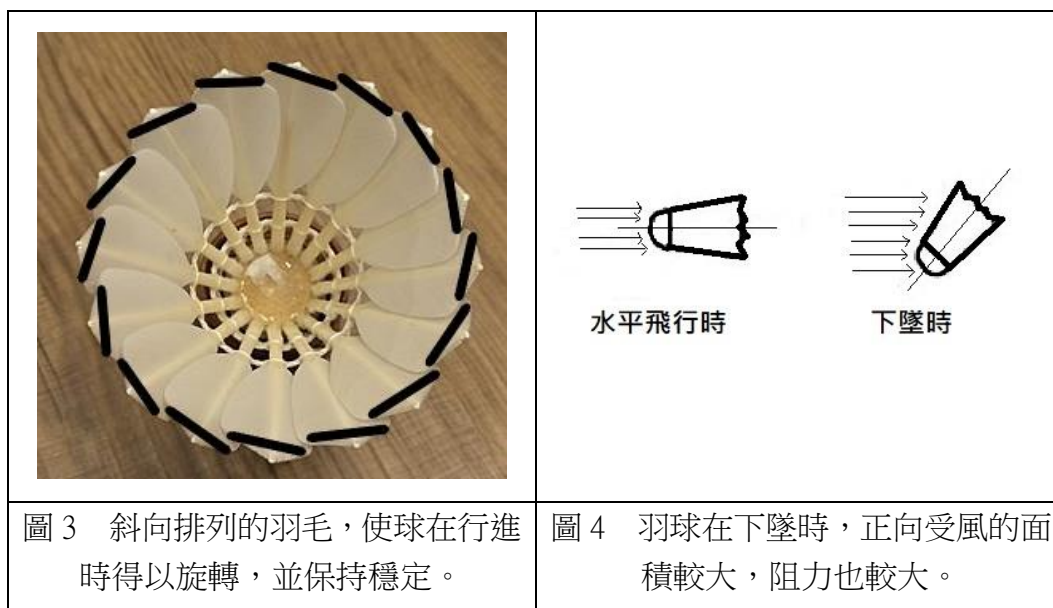


二、研究羽毛球之相關科展作品及網頁：

我們在決定主題到確立研究方法前的這個階段，就像一群無頭蒼蠅一樣不知從何做起。老師建議我們多看看其他與羽球相關的科展研究，不僅可瞭解研究應有的流程架構，也可增進羽球物理性質相關的知識背景。我們找到一篇中華民國第 57 屆全國科展的作品，篇名為：「斷尾求『生』~探討羽球羽毛對飛行的影響」。這篇作品中，提及了風洞的製作，以及用空氣壓縮機來作為羽球發球機，在研究方法上給了我們很好的參考。另外，該研究對於羽球的羽毛外型做了很仔細的分析，不論是羽毛有內外的大小翅之分，還有羽毛的對稱性對於飛行的影響，這篇都有深入的探討與研究。

除了科展作品，我們也研究了一些對於打羽球技巧以及探討羽球飛行動力學的網站。從中我們得知了羽球擊出高遠球的擊球點應在拍面達到 90° 之前，太早球會飛得高但不遠，太晚球無法呈理想的拋物線飛出，會直接墜地，這樣的技巧知識能應用在我們製作的羽球發球機之中。另外，羽球飛行時，每片羽翅因朝同方向斜放（如圖 3），就如同子彈在槍膛裡受到溝槽摩擦而旋轉射出一樣，飛行時的旋轉能使得飛行更加穩定不易晃動。而

羽球飛行在過拋物線頂端後，會因球頭方向向下，正面受風面積增加而迅速下墜(如圖4)，這些都讓我們在考慮如何修剪羽毛時當作參考。



伍、研究過程與步驟

一、分析一般羽球與塑膠球之差異：

我們從市面上買來幾款不同品牌的球，從中挑選出打感較佳、品質較穩定、價格適中的羽毛球與塑膠球各一款作為研究對象，另外加入在同賣場中看到有特殊抗風效果之塑膠球，一筒有三顆不同色的球，標榜可因應不同程度的風速，分別是橘色球—強風中適用；黃色球—中等風速適用；白色球—微風中適用。

(一) 各種球款價格與打感分析：

方法：我們購買了市面上幾款不同類型的羽球與塑膠球，並實際在球場試打，綜合大家的心得，決定選用何種球款作為我們後續的實驗球。

表 1：市售羽球價格與打感分析

球種	價格 (元/平均每顆)	打感心得	是否 保留
M 牌比賽級鵝毛 羽球	47.5	球頭較硬，飛行穩定，飛行距離適中，羽毛耐用不易岔開。	
R 牌練習級鴨毛 羽球	30.8	擊球感佳，飛行穩定，距離適中。	✓
S 牌練習級鴨毛 羽球	11.6	球頭偏軟，飛不遠，羽毛容易岔開。	
V 牌人造羽球	51.6	球頭較硬，擊球後球頭微晃，飛行距離稍遠，人造羽強韌耐用。	
D 牌標準型塑膠球	33.1	擊球感不紮實，但飛行穩定，飛行距離稍短一些。	✓
D 牌抗風型塑膠球 (橘色)	49.3 (一組三款球)	擊球感似彈力球，輕輕一擊會飛很遠，速度很快。	✓
D 牌抗風型塑膠球 (黃色)		球頭很彈，可以飛很遠，不過距離與速度都較橘色款低一些。	✓
D 牌抗風型塑膠球 (白色)		擊球後球頭易晃，飛行距離中等。	✓
N 牌塑膠羽球	14.2	球頭的泡棉很軟，用力打也飛不遠，大家都覺得難打。	

綜合表 1 所述，我們將高價的 M 牌比賽級鵝毛羽球與 V 牌人造羽球先剔除，因這兩款小學生較負擔不起，且作為大量實驗消耗用球有些浪費。再來我們將廉價的 S 牌練習級鴨毛羽球和 N 牌塑膠羽球也剔除，因其達不到一般羽球飛行的距離與速度，耐用度也低。

(二) 球類基本分析：

表 2 羽球分析表

比較項目 羽球種類	羽翼材質	球頭材質	重量 (g)	高度 (cm)	羽翼張開直徑 (cm)
R 牌練習級羽球	高級鴨毛	複合軟木	4.86	8.4	6.5
D 牌標準型塑膠球	聚醯纖維	軟木	5.28	7.6	6.6
D 牌抗風型塑膠球 (橘色)	聚醯纖維	EVA 泡棉	8.72	7.3	6.5
D 牌抗風型塑膠球 (黃色)	聚醯纖維	EVA 泡棉	7.74	7.3	6.5
D 牌抗風型塑膠球 (白色)	聚醯纖維	EVA 泡棉	6.43	7.3	6.5

※同種球的重量仍有些許不同，誤差幾乎都在 0.3g 以內，我們各取三顆計算平均重量並記錄之。

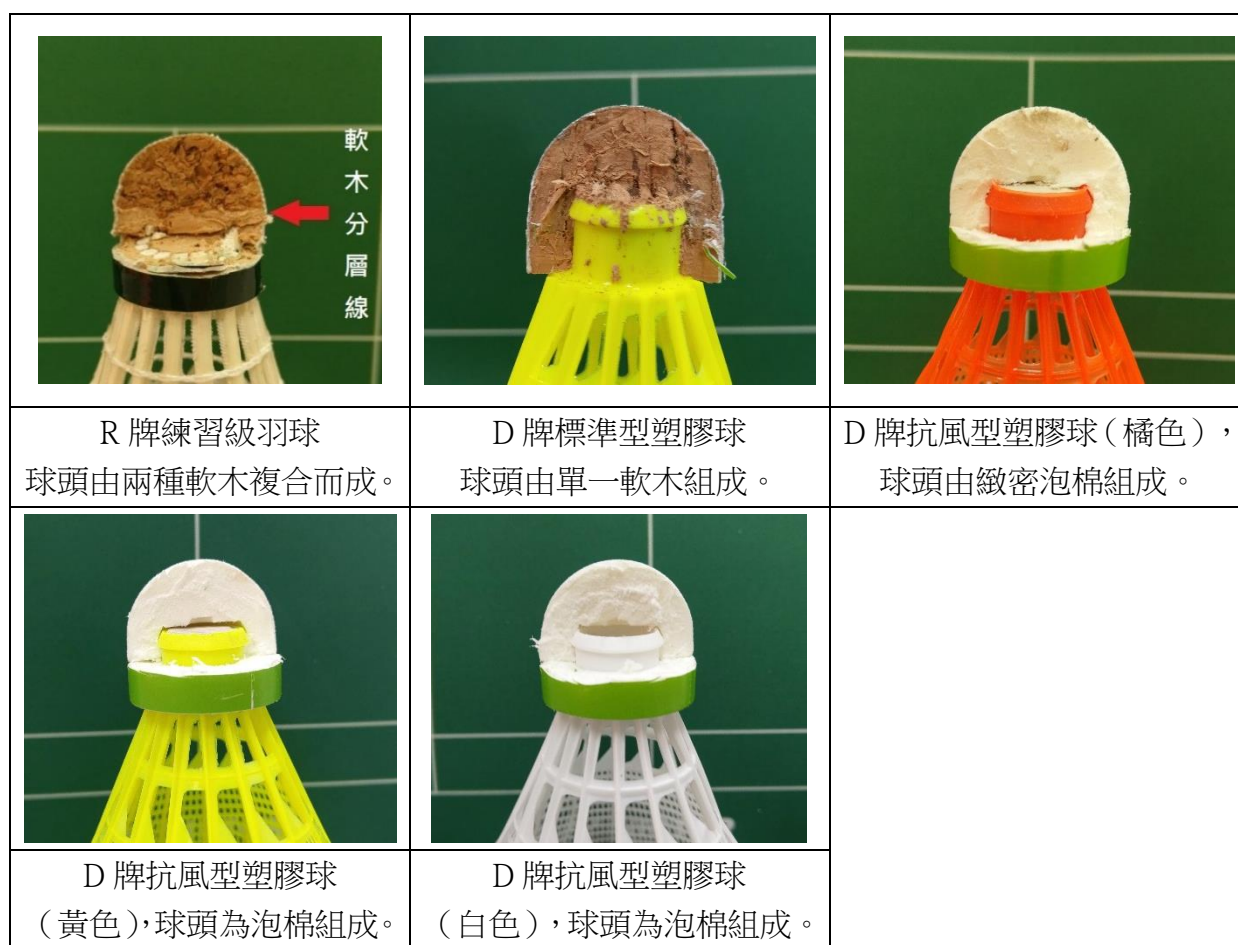


圖 5 球頭材質剖面圖

結果：

1. 可以發現無論羽毛球或塑膠球，羽翼張開的直徑都幾乎相同，約為 6.5 公分寬，應是較適合羽球飛行的一個羽翼寬度。
2. 重量方面，四種塑膠球皆比羽毛球來得重，且抗風的三款球又比普通的塑膠球更重。抗風三款球的重量比較分別是：橘色 > 黃色 > 白色，而其標榜的抗風效果也是橘色 > 黃色 > 白色，因此我們推論塑膠球是否抗風與其重量有關，此一結果還需待後面實驗驗證之。
3. 高度方面，羽球的高度最高，其次是普通塑膠球，三款抗風球最矮，抗風球高度足足比羽毛球矮了 1.1 公分。
4. 羽球跟塑膠球的球頭有分成軟木及泡棉兩種材質，應是造成擊球時打感不同的主因之一，但同樣是軟木材質，各廠牌的製造成分也有差異；同樣是泡棉材質，也能感受出有的彈性較佳，有的怎麼打也打不遠。由於球頭的成分是我們難以控制與分析的，我們決定將球頭做為保持不變變因，優先嘗試將羽球的其他部位改造來進行後續的實驗和研究。

二、自製羽球發球機

為了後續測試各種羽球的飛行狀況，我們首先想到應製作一台羽球發球機，確保每一次發球都是使用固定的力擊出的，為實驗中的保持不變變因。

第一代羽球發球機設計概念如下：

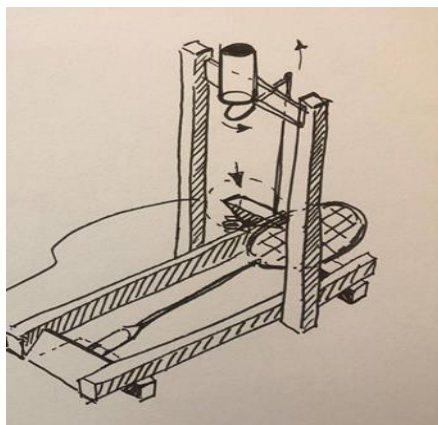


圖 6 自製羽球發球機概念設計圖

發球機主要用來擊球的部分是長期使用稍微折損但拍面完整的球拍，再用角材與鐵釘進行框架的製作，我們的發球機使用**彈力**來作為擊發球的主要動力，將球拍的握把處固定在彈簧鉸鍊上，每次發球時將球拍下壓到固定高度，放開時利用彈簧的回復力將球拍揮出，球拍拍面擊打到羽球固定架上的羽球球頭。我們並參考網路上介紹羽球高遠球擊球點的技巧，使球拍在擊到球時呈現拍面往上斜的仰角，並將置球架設計成球頭與拍面接觸時能剛好垂直以達最大受力角度，如此一來就能應用現有的彈簧彈力達到最遠的發球距離。

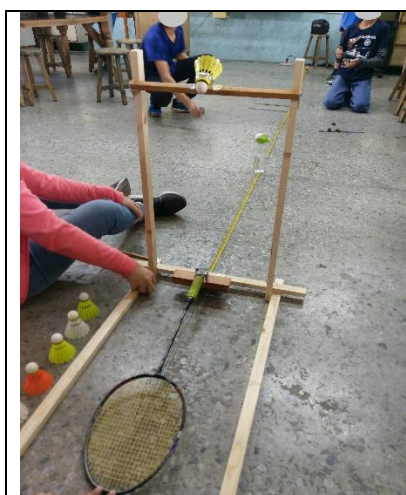


圖 7 自製彈力型發球機
(預備狀態)



圖 8 放開後，球拍因彈簧鉸鍊的彈力而揮頭向前，擊中置球架上的羽球球頭。



圖 9 後來發現發球時的拋物線角度太低，改將發球機置於桌上，便可得到較遠的發球距離。

原本以為發球機已順利完成了，且測試球的落點都相當集中，想不到後來擊球用的拍子中桿承受不住強大的彈力而斷裂（因其原本就是中桿有些許問題而淘汰的拍子），接著又使用第二支拍子進行實驗，但因拍線反覆撞擊製球架上的鐵片，幾次打擊之下也斷掉了，而已經鑽孔固定上鉸鍊的拍子很難取下來換線，因此在兩支球拍接連陣亡的情況下，我們第一代自製羽球發球機就在耐用度不足的結果中宣告失敗了。



圖 10 擊球後觀察羽球的落點，發現落點有集中性，證明自製發球機的發球力道是接近一致的。



圖 11 第一支拍的中桿硬生生折斷，顯現彈力的強大。



圖 12 第二支球拍的拍線被白鐵材質的置球架給割斷

第二代羽球發球機：

由於第一代發球機在已經進行一陣子實驗後才損壞，前面的實驗得全數重來，礙於時間因素，我們參考了文獻中「斷尾求『生』~探討羽球羽毛對飛行的影響」這篇裡使用空氣壓縮機來發射羽球的方法，來製作新的羽球發球機。

第二代羽球發球機我們使用 9L 的空壓機，並將噴槍固定在一代發球機的框架上，調整噴氣角度，使羽球會以仰角 45° 發射出去。另外使用一顆鑽孔的塑膠球，將軟木削成剛好能卡住另一顆球的大小，插在噴槍的噴嘴上，做為放置羽球的球托，如此便完成了運用空氣噴射力作為推進力的二代羽球發球機。此發球機的缺點是無法將球頭材質的彈力差異給考慮進來，但剛好我們將球頭材質做為保持不變變因，因此便沒有影響了。



圖 13 將空壓機的噴槍固定於第一代發球機的木框上，使其仰角固定。



圖 14 塑膠球的球頭經塑型過，以鑽孔機穿孔，插在壓縮機的噴嘴上，作為球托。



圖 15 將要發射的羽球放置球托上，以仰角 45° 發射出去。

三、羽毛外型對於羽球飛行能力之影響

(一) 想法：

我們在查找文獻中，瞭解到羽球羽毛的排列及形狀都會影響到飛行時的速度，我們想知道羽毛球的羽毛支數、內外翅的修剪、以及羽毛長短會如何影響羽球飛行的距離，還有它們受到逆風、順風和側風的風力影響的程度，來找出發展低風阻羽球的關鍵。

(二) 步驟：

1. 將羽毛球的羽毛做修剪，為維持球飛行時的對稱性，16 支羽毛分別各剪去 4 支羽毛以及 8 支羽毛，還有分別將每一支羽毛剪去內翅與外翅，以及將羽毛剪去上半部跟下半部，如下圖：

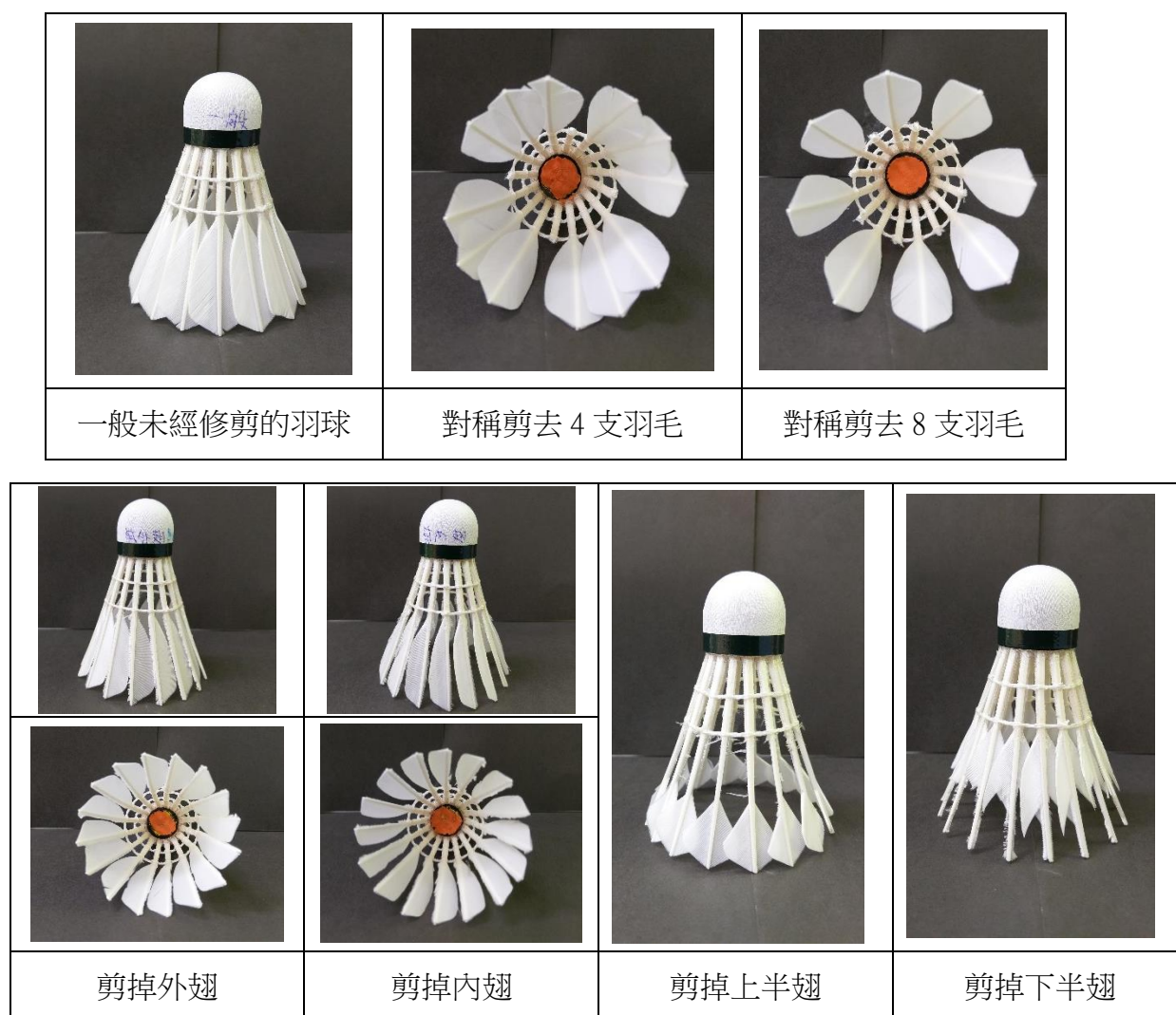


圖 16 未修剪與修剪後的羽球

2. 為避免剪去羽毛的羽球重量成為一個影響實驗的變因，因此我們以電子秤測量每一顆球皆與未修剪的一般羽球同重，不足的以油土壓在球頭裡側來增加重量。
3. 在不同方位擺放電風扇來製造逆風、順風及側風的環境，再利用手機慢動作攝影找出發球機的球飛行路徑後，配合風速計來找出電風扇的氣流是否有確實吹到飛行路徑上，且運用 Tracker 軟體，我們分析這些球的軌跡在框起的受風範圍大抵相同。我們參考了校園中平常大家會打羽球的角落測量風速，測得風速大小約為 1.7m/s~2.5m/s 之間，並以此參考調整風扇的風力大小，控制實驗時的風速不低於戶外風速。

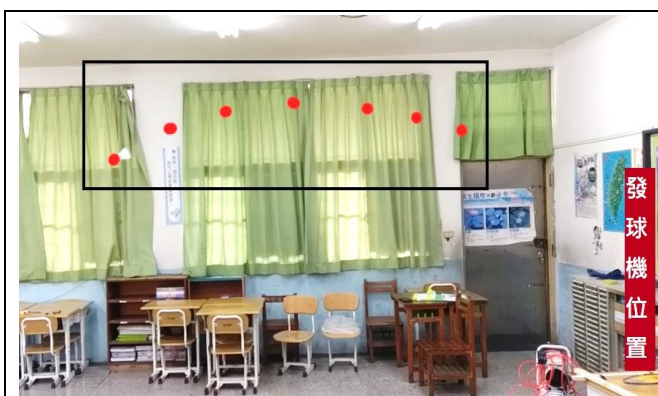


圖 17 利用手機錄影觀察羽球的飛行軌跡，找出合適的受風位置。

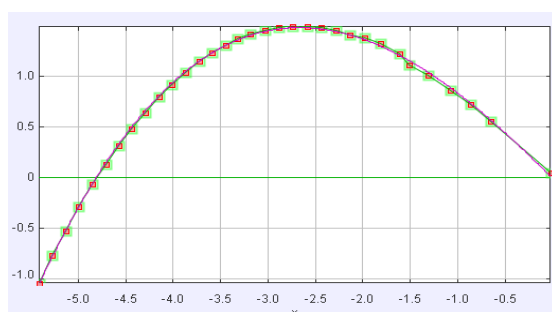


圖 18 Tracker 軟體分析各種球的飛行軌跡，確認球皆能在適當位置受風。



圖 19 作為逆風風源之電風扇



圖 20 作為順風風源之電風扇



圖 21 由於單一電扇用於側風的受風面積小，因此使用兩支電扇作為側風風源。

4. 按壓噴嘴發球，在落點處放置大顆螺帽作記號，每按壓三次便重新打氣，確保每次發射的氣壓都充足，多次發射後取位置較集中的五顆球，記錄遠近與橫向的距離。

(三) 結果：

將實驗球球頭點上些許墨水，落地後由兩個人共同觀察落點後放置螺帽做為記號，並紀錄如表 3、4、6、8，並將遠近與橫向距離平方相加後開根號，計算總長度。而逆風、順風與側風的位置再與無風時相比，計算受風後偏移的程度。

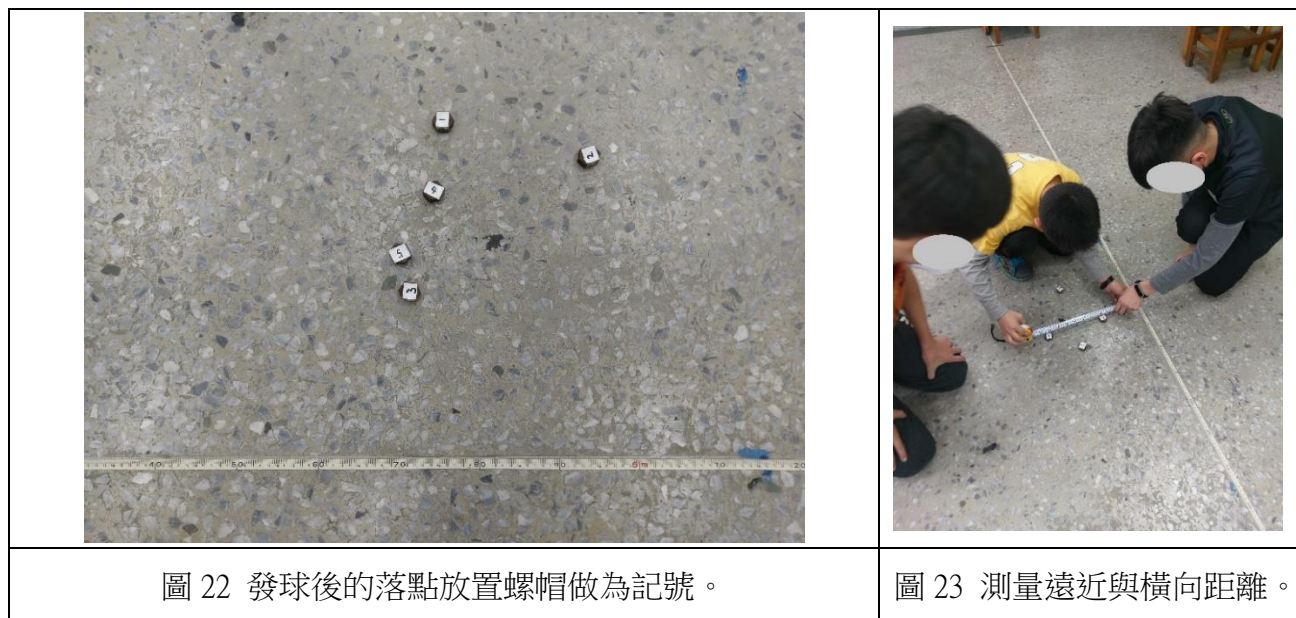


圖 22 發球後的落點放置螺帽做為記號。

圖 23 測量遠近與橫向距離。

表 3：無風時，各種羽毛球的飛行距離（單位：公分）

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總長
一般羽球	遠近距離	487	454	479	500	472	478.4	479
	橫向距離	-39.5	0	-37.5	-8	-34	-23.8	
剪去 4 支 羽毛	遠近距離	480	480	475.5	481	480	479.3	479.3
	橫向距離	-15	-15	10.5	-4.5	5	-3.8	
剪去 8 支 羽毛	遠近距離	519	511	516	520	512	515.6	515.8
	橫向距離	10	6	-0.5	25	27	13.5	
剪去外翅	遠近距離	508.5	482	486.5	518	481	495.2	495.4
	橫向距離	3	15.5	22.5	28	5	14.8	
剪去內翅	遠近距離	487.5	495	499	482	473	487.3	487.4
	橫向距離	5	18	5.5	15.5	4	9.6	
剪去 上半翅	遠近距離	525	517.5	515	510	523	518.1	519.5
	橫向距離	-31	-41.5	-34	-49	-37	-38.5	
剪去 下半翅	遠近距離	520	512	496	514	504	509.2	509.4
	橫向距離	-16.5	-20	-16.5	-0.5	-23.5	-15.4	

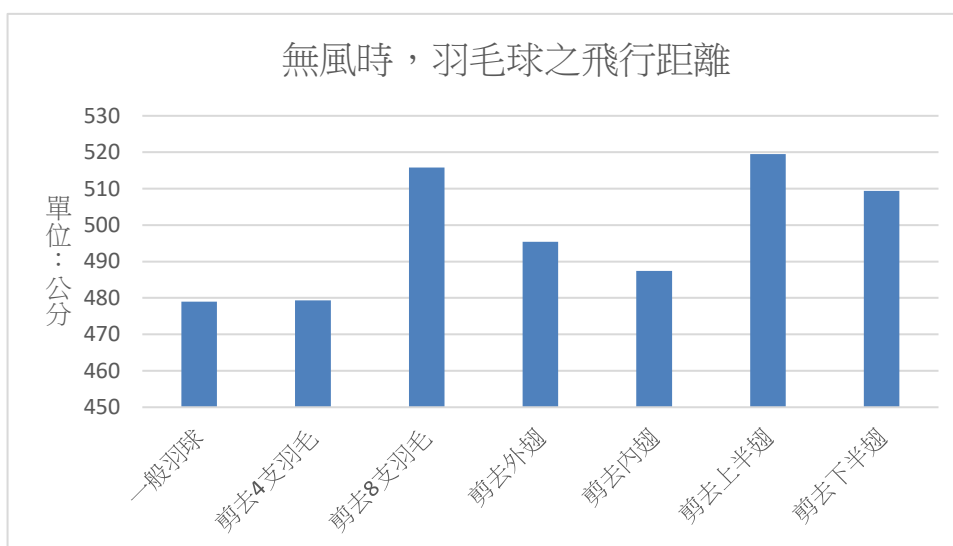


圖 24 無風時，羽毛球之飛行距離

表 4：逆風時，各種羽毛球的飛行距離（單位：公分）

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總長
一般羽球	遠近距離	466	453	452	458	473	460.4	460.7
	橫向距離	14.5	10	28.5	16.5	13	16.5	
剪去 4 支 羽毛	遠近距離	434	415	439.5	432	422	428.5	428.65
	橫向距離	-2.5	0.5	12.5	30	17	11.5	
剪去 8 支 羽毛	遠近距離	407	405.5	409	428.5	409	411.8	412.76
	橫向距離	8.5	19	15	-8.5	106.5	28.1	
剪去外翅	遠近距離	425	429	422.5	426	424.5	425.4	425.64
	橫向距離	2	36.5	31	9.5	-8	14.2	
剪去內翅	遠近距離	446	420.5	426	445	448	437.1	437.1
	橫向距離	-6	7	-18.5	6	3.5	-1.6	
剪去 上半翅	遠近距離	461	471	475	462	466	467	467.62
	橫向距離	7	28	6.5	43	35.5	24	
剪去 下半翅	遠近距離	490	475	495	471	487	483.6	484.22
	橫向距離	-10	-16	-44.5	-20	-32	-24.5	

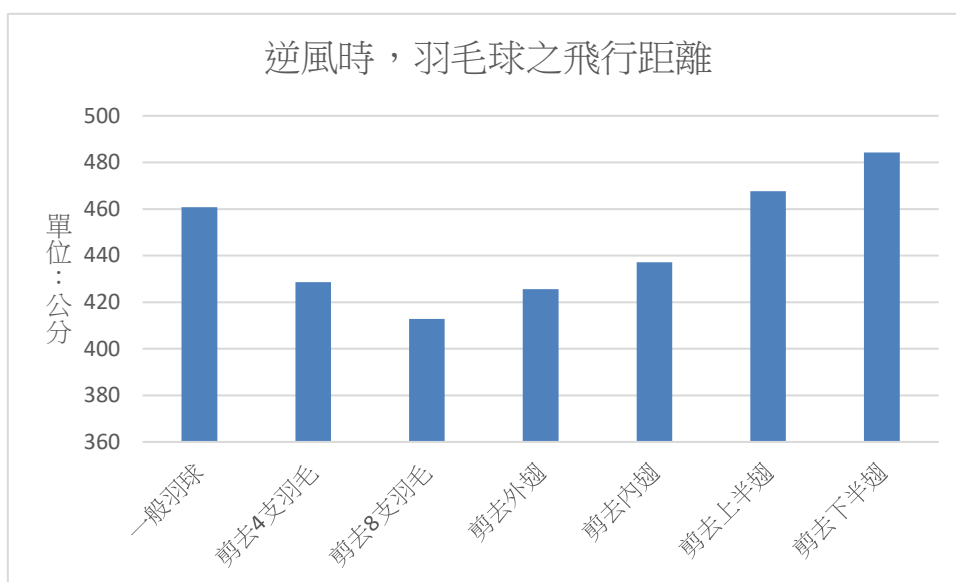
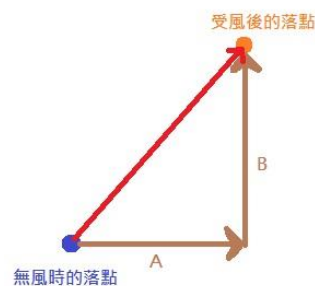


圖 25 逆風時，羽毛球之飛行距離

與無風時作比較，將兩者的遠近與橫向位置相減，平方相加後開根號，算出實際偏移的量，

$$\text{總位移量} = \sqrt{A^2 + B^2}$$



得到如表 5 的偏移量，並製成圖 26 表示（後面方法皆同，僅以圖表示）：

表 5 逆風與無風之距離比較表（四捨五入至小數點第二位，單位：公分）

羽球種類	與無風時比較的偏移量
一般羽球	44.14
剪 4 支羽毛	53.05
剪 8 支羽毛	104.82
剪去外翅	69.8
剪去內翅	51.43
剪去上半翅	80.73
剪去下半翅	27.17

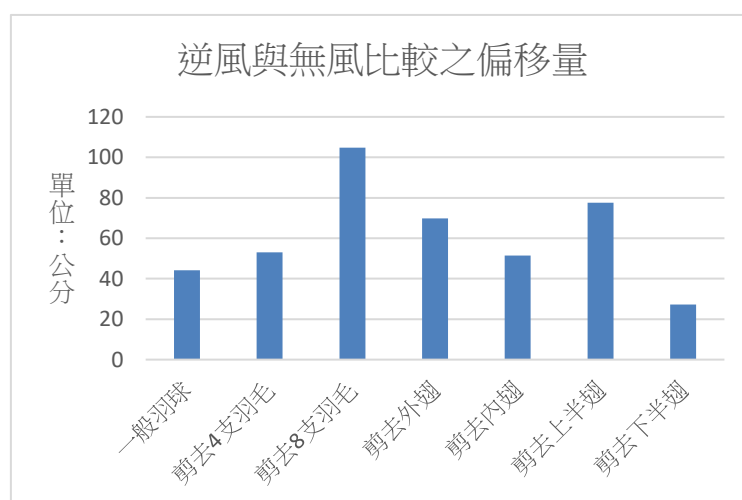


圖 26 逆風與無風比較之偏移量

表 6 順風時，各種羽毛球的飛行距離（單位：公分）

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總長
一般羽球	遠近距離	608	563	576	594	585	585.2	585.32
	橫向距離	0	12.5	17	18.5	10.5	11.7	
剪去 4 支 羽毛	遠近距離	594	559	629	619	612	602.6	602.6
	橫向距離	-14	-6	11	-10	16	-0.6	
剪去 8 支 羽毛	遠近距離	614	590	622	579	608	602.6	603.16
	橫向距離	3	28.5	35	41	22.5	26	
剪去外翅	遠近距離	620	618	568	652	605	612.6	613.05
	橫向距離	12	19	37	45	5	23.6	
剪去內翅	遠近距離	617	586	617	580	603	600.6	602.43
	橫向距離	43.5	60.5	43.5	58.5	28.5	46.9	
剪去 上半翅	遠近距離	618	658	638	628	639	636.2	636.25
	橫向距離	19	3	-9	16	11.5	8.1	
剪去 下半翅	遠近距離	587	622	600	614	605.5	605.7	605.7
	橫向距離	2	-7.5	27.5	-11	-17.5	-1.3	

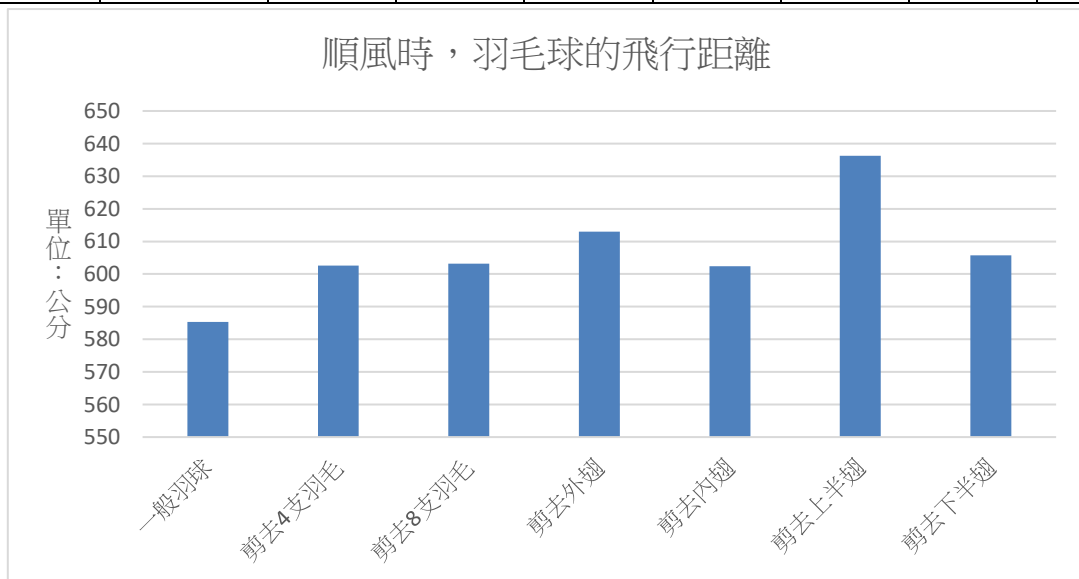


圖 27 順風時，羽毛球之飛行距離

與無風時作比較，並將計算偏移量後製成圖表，可得圖 28：

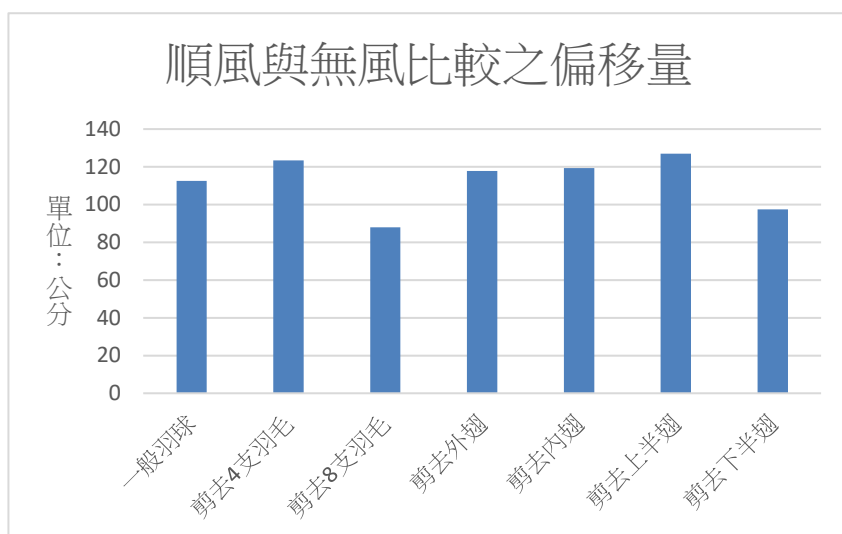


圖 28 順風與無風比較偏移量

表 7 側風時，各種羽毛球飛行距離（單位：公分）

羽球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總長
一般羽球	遠近距離	495	493	520	515	480	500.6	501.36
	橫向距離	28	42.5	10.5	45	12	27.6	
剪去 4 支 羽毛	遠近距離	507	514	504	494	498	503.4	506.95
	橫向距離	64	52.5	52.5	67	63.5	59.9	
剪去 8 支 羽毛	遠近距離	500	535	519	523	491	513.6	515.76
	橫向距離	30	46.5	62.5	39	57.5	47.1	
剪去外翅	遠近距離	533	535	537	534	529	533.6	537
	橫向距離	61.5	58	62	52	68	60.3	
剪去內翅	遠近距離	544	521	533	541	523	532.4	536.44
	橫向距離	69	83	55	48.5	73	65.7	
剪去 上半翅	遠近距離	510	559	537	546	539	538.2	538.21
	橫向距離	-11.5	17.5	-8	21	-5	2.8	
剪去 下半翅	遠近距離	558	531	528	539	557	542.6	542.71
	橫向距離	-4	9.5	15	12.5	22.5	11.1	

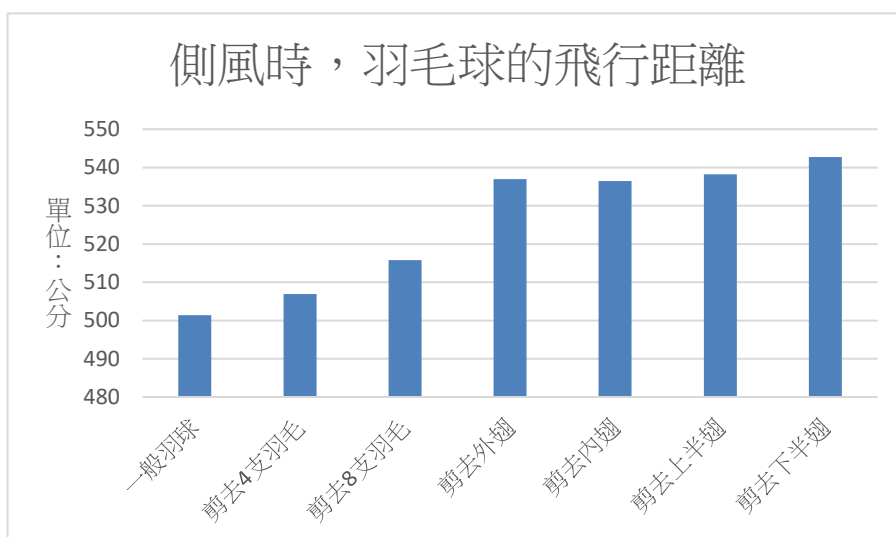


圖 29 側風時，羽毛球的飛行距離

與無風時作比較，並將距離差取絕對值後製成圖表，可得如圖 30：

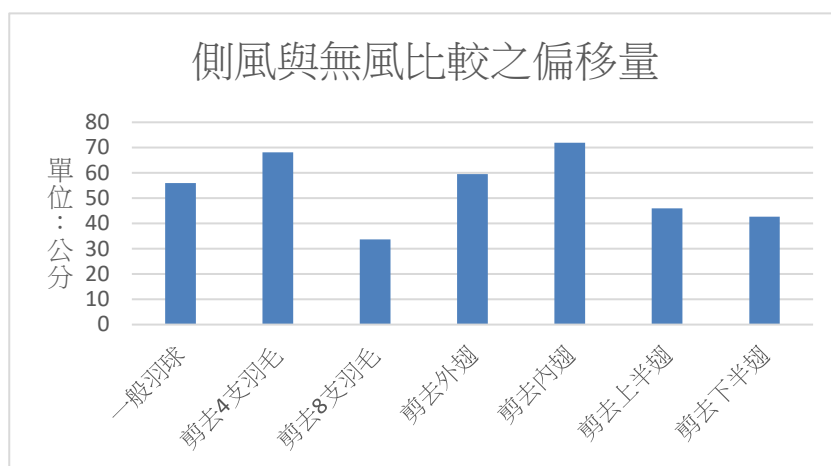


圖 30 側風與無風比較的偏移量

(四) 發現：

1. 在無風狀態時，一般的羽毛球飛行距離比所有修剪過的羽球都還要短，表示我們的修剪法皆會造成羽球飛行時的阻力減少，也就是完整的羽球其飛行時的風阻是最大的。
2. 無風時，剪 8 支羽毛的羽球飛行距離比剪 4 支羽毛及未剪的球來得遠很多，在這裡我們推論羽毛支數越少，其風阻可能越小，飛行距離可能越遠。。
3. 逆風狀態下，剪 8 支羽毛的羽球反而飛行距離最短，與上則發現不符。在查詢文獻後我們瞭解羽球羽毛的斜向排列會讓羽球飛行時旋轉，使飛行更穩定。而實驗過程中我們觀察到，剪去過多羽毛的羽球，在逆風的狀態下容易因晃動而改變球身角度，造成阻力改變，因此反而飛不遠。

4. 剪 8 支羽毛的羽球在順風及側風環境下偏移量皆最少，顯示其對應順風及側風環境有較佳的抗風效果。
5. 剪去外翅與剪去內翅的羽球，飛行距離上沒有明顯的差異。
6. 剪去上半翅的羽球在無風時飛行距離最長，剪去下半翅的球在逆風與側風時分別有最佳及次佳的抗風表現，觀察飛行情形也發現剪去下半翅的球比剪去上半翅來得穩定。

四、塑膠羽外型對於塑膠球飛行能力之影響

(一) 想法：

平常的歡樂羽球我們大多使用塑膠球來打，因為非常耐用，也不會被力氣太大的同學打壞，對於小學生的我們可說是經濟又實惠。考慮到小學生的打球習慣，以及歷屆科展中對於塑膠球的研究較少，因此我們將容易裁剪的塑膠球納入我們的實驗對象，並試著改變塑膠羽的外型來研究它受風後的飛行能力。

我們想瞭解塑膠羽面對於塑膠球飛行的影響，為顧及對稱性，我們將塑膠羽由上而下一層一層向下剪，因羽毛球的羽毛有斜面排列設計，於是我們也嘗試斜剪塑膠球來實驗。但斜剪時發現，塑膠球上的孔隙有疏密之分，應是為了讓塑膠球飛行時能產生轉動所設計。怕我們剪的方向反而抵銷旋轉力，因此也斜剪另外一個方向避免造成實驗疏漏。

另外，標榜有抗風特性的三色塑膠球也一併納入本實驗中做探討，但不對其外型做修剪，看其抗風性與其它塑膠球相比表現如何。

(二) 步驟：

1. 將塑膠球的塑膠羽做修剪，如下圖：



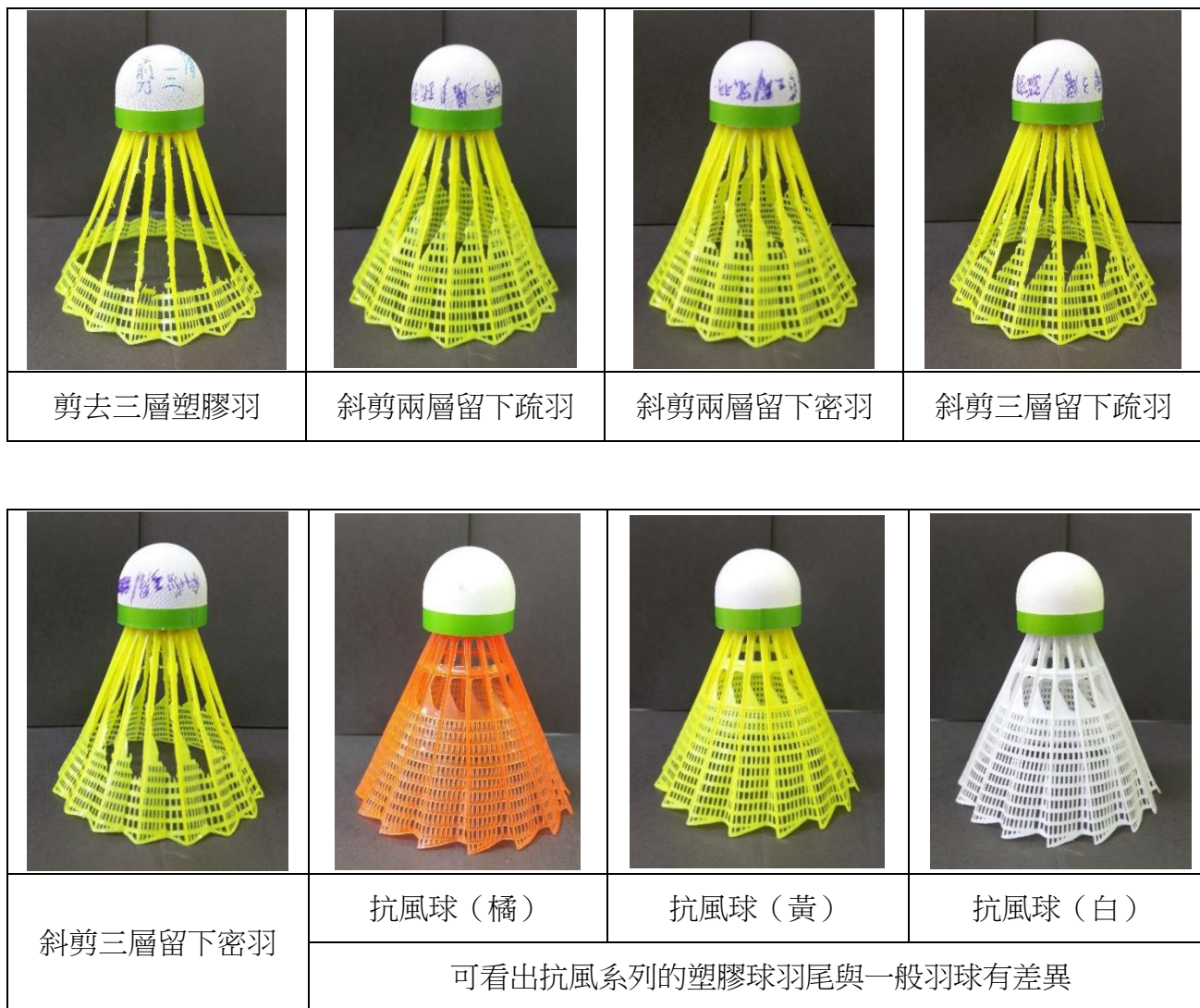


圖 31 未修剪、修剪後的塑膠球與抗風塑膠球

2. 以電子秤測量修剪過的球，與未修剪的塑膠球相比，不足的重量以油土壓在球頭裡側來補足，抗風球的重量不做調整。
3. 同前面羽毛球實驗，在不同方位擺放電風扇來製造逆風、順風及側風的環境，多次發球後取最集中的五顆球紀錄之。

（三）結果：

測量方法同羽毛球實驗，由兩個人一同觀察落點並放置螺帽作為記號，再測量遠近及橫向之距離，在量尺左邊以負值表示，右邊是正值，並計算位移量。

1. 無風時，各種塑膠球的飛行距離：

表 10：無風時塑膠球的飛行距離（單位：公分）

塑膠球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總長
一般	遠近距離	498	494	495	492	498	495.4	495.41
	橫向距離	7	-5	-8	-11	-1	-3.6	
剪去骨幹	遠近距離	490	519	495	492	528	504.8	505.01
	橫向距離	-30	4	-29.5	-11	-5.5	-14.4	
剪去一層塑膠羽	遠近距離	509	517	522	509	502	511.8	511.82
	橫向距離	15	8	1.5	15	-17	4.5	
剪去兩層塑膠羽	遠近距離	530	521	548	548	543	538	538.09
	橫向距離	2.5	-8	23.5	14.5	16.5	9.8	
剪去三層塑膠羽	遠近距離	568	537	549	526	545	545	545
	橫向距離	2	-13	-8.5	-1	15	-1.1	
斜剪兩層 留下疏羽	遠近距離	526	527	515	523	509	520	520.04
	橫向距離	-7	19	8	0	12.5	6.5	
斜剪兩層 留下密羽	遠近距離	505	529	499	518	499	510	510.07
	橫向距離	7.5	12	-8	27	3	8.3	
斜剪三層 留下疏羽	遠近距離	536	542	531	549	532	538	538.39
	橫向距離	23	17.5	13.5	22	26.5	20.5	
斜剪三層 留下密羽	遠近距離	521	525	533	523	530	526.4	526.44
	橫向距離	-9	23	11	7.5	-1.5	6.2	
抗風橘	遠近距離	487	487	501	498	525	499.6	499.74
	橫向距離	5.5	11	24	10.5	9	12	
抗風黃	遠近距離	515	512	508	537	522.5	518.9	520.04
	橫向距離	29	5	10	14	22	16	
抗風白	遠近距離	530	530	520	549.5	519	529.7	529.85
	橫向距離	18	-0.5	13	11	20.5	12.4	

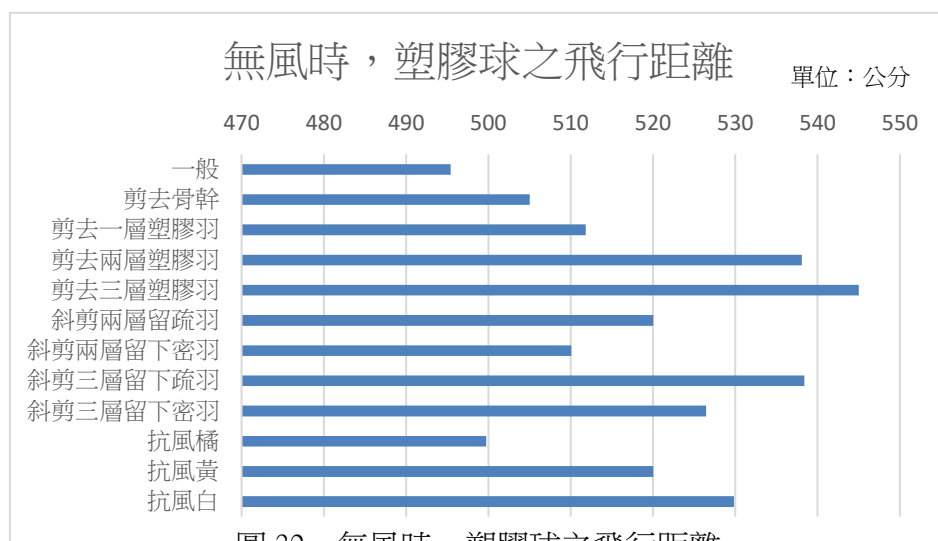


圖 32 無風時，塑膠球之飛行距離

2. 逆風時，各種塑膠球的飛行距離：

表 11：各種塑膠球在逆風中的飛行距離（單位：公分）

塑膠球種類		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總長
一般	遠近距離	464	447	433	447	452	448.6	448.62
	橫向距離	-14	-10	-34.5	-25.5	-18	-20.4	
剪去骨幹	遠近距離	458	452	445	457	457	453.8	454.25
	橫向距離	-55	-42.5	-63	-34.5	-31.5	-45.3	
剪去一層塑膠羽	遠近距離	444	458	478	426	463	453.8	453.82
	橫向距離	-27.5	-40	-58.5	-9	-9	-28.8	
剪去兩層塑膠羽	遠近距離	436.5	479	456	450	448	453.9	455.95
	橫向距離	-49	-64	-72.5	-92.5	-63	-68.2	
剪去三層塑膠羽	遠近距離	475	493	471	474	470	476.6	476.67
	橫向距離	-44	-41	-21	-35	-26	-33.4	
斜剪兩層 留下疏羽	遠近距離	450	466.5	449	464	459	457.7	457.7
	橫向距離	-46.5	-27.5	-28.5	-11	-14	-25.5	
斜剪兩層 留下密羽	遠近距離	449	450	433	455	456	448.6	449.41
	橫向距離	-48	-52	-47.5	-56.5	-56	-52	
斜剪三層 留下疏羽	遠近距離	459	474	445	457	454	457.8	457.98
	橫向距離	-39	-25.5	-40.5	-26.5	-57	-37.7	
斜剪三層 留下密羽	遠近距離	450	456	445	471	451	454.6	455.7
	橫向距離	-80.5	-49	-55	-61	-37.5	-56.6	
抗風橘	遠近距離	490	489	504	476	495	490.8	491
	橫向距離	-25.5	6.5	-15	-18	-3	-11	
抗風黃	遠近距離	494	476	497	488	473	485.6	457.7
	橫向距離	-9.5	4	0	-12	-21.5	-7.8	
抗風白	遠近距離	476	447.5	443	491	484	468.3	468.34
	橫向距離	-31.5	-29.5	-5.5	-14	-13.5	-18.8	

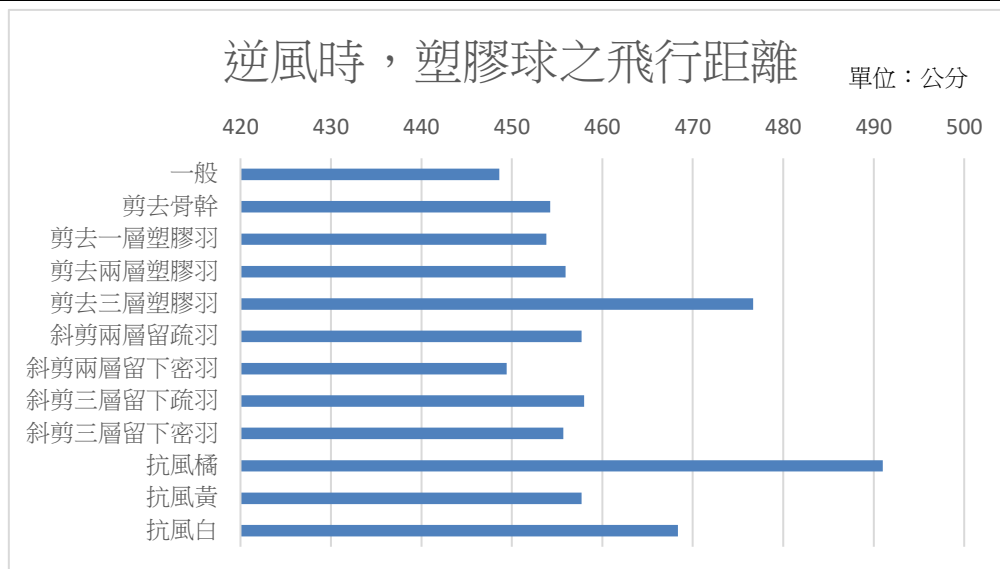


圖 33 逆風時，塑膠球飛行遠近之平均距離

與無風時作比較，並將每種球移動的距離差製成圖表，可得圖 34：

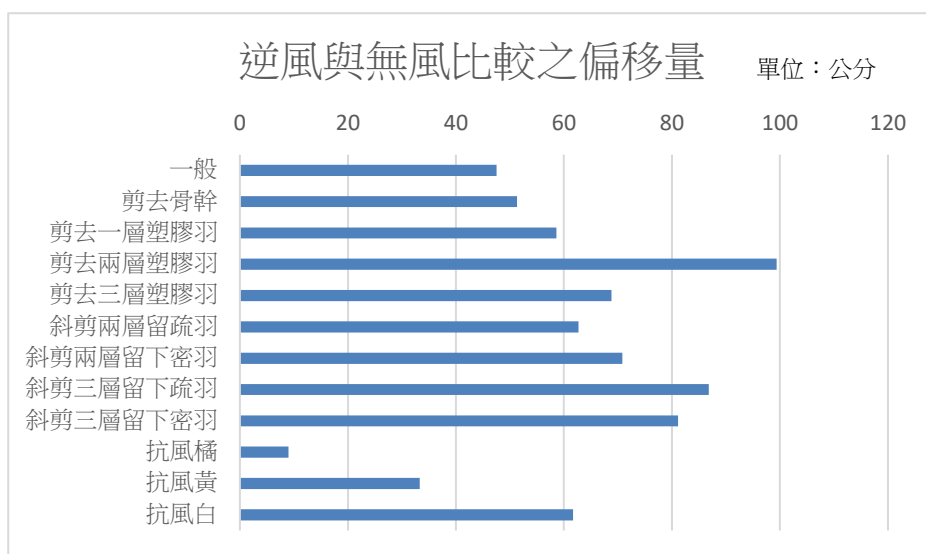


圖 34 逆風與無風時之偏移量

3. 順風時，各種塑膠球的飛行距離：

表 12：各種塑膠球在順風中的飛行距離（單位：公分）

塑膠球種類		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總長
一般	遠近距離	534	564	550	558	562	553.6	553.81
	橫向距離	21.5	31.5	-1	13.5	10	15.1	
剪去骨幹	遠近距離	596	567	545	546	593	569.4	569.44
	橫向距離	6.5	3	21.5	0.5	1	6.5	
剪去一層塑膠羽	遠近距離	561	587	569	591	558.5	573.3	573.33
	橫向距離	3	11	9.5	2.5	5.5	6.3	
剪去兩層塑膠羽	遠近距離	593	595	582	593	598	592.2	592.35
	橫向距離	4	23	7.5	4	29	13.5	
剪去三層塑膠羽	遠近距離	597	613	592.5	553	580	587.1	587.38
	橫向距離	9	11	24	26.5	20	18.1	
斜剪兩層留下疏羽	遠近距離	588	572	597	581	612.5	590.1	590.47
	橫向距離	42	36.5	-4	12.5	17.5	20.9	
斜剪兩層留下密羽	遠近距離	586	547	558	589	581	572.2	572.2
	橫向距離	-4	17	-12.5	15.5	-6.5	1.9	
斜剪三層留下疏羽	遠近距離	560	614	580	555	591	580	580.11
	橫向距離	8.5	18	1.5	8.5	20.5	11.4	

斜剪三層留下 密羽	遠近距離	585	607	603	591	567	590.6	590.64
	橫向距離	-34	-4.5	-9.5	13.5	1.5	-6.6	
抗風橘	遠近距離	555	553	563	545	569	557	558.32
	橫向距離	36	49.5	45	9.5	52	38.4	
抗風黃	遠近距離	615	560	557.5	573	605	582.1	590.47
	橫向距離	17.5	37.5	23	42.5	36	31.3	
抗風白	遠近距離	607	620	619	614	613	614.6	614.62
	橫向距離	-6.5	11.5	17.5	-6.5	6	4.4	

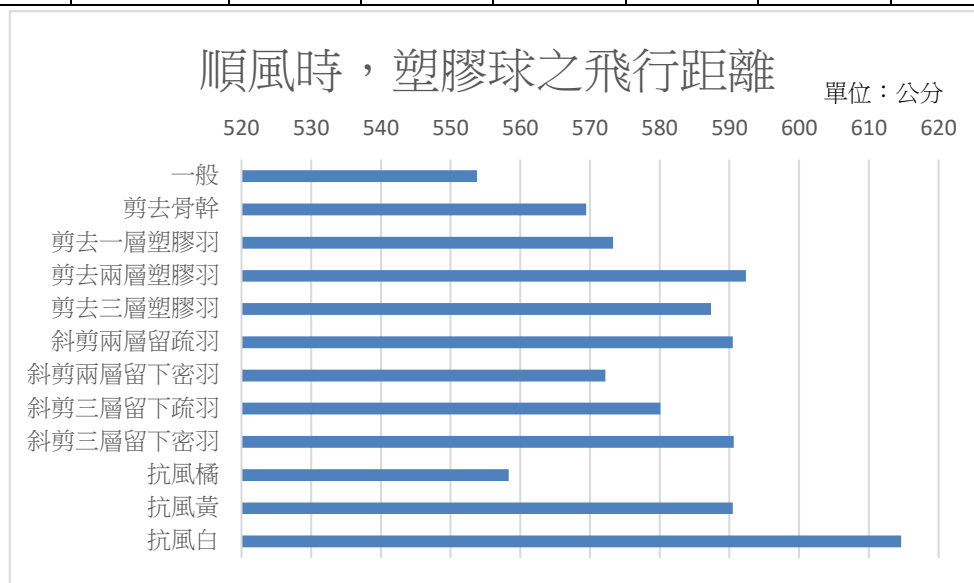


圖 35 順風時，塑膠球之飛行距離

與無風時作比較後製成圖表，可得如圖 36：

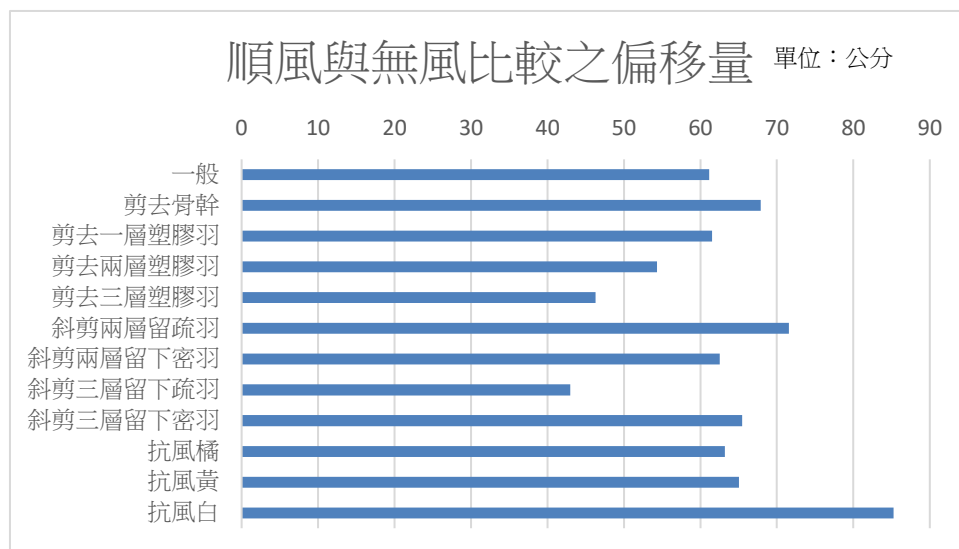


圖 36 順風與無風比較之偏移量

4. 側風時，各種塑膠球的飛行距離：

表 13 各種塑膠球在側風中的飛行距離（單位：公分）

塑膠球種類	距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總長
一般	遠近距離	496	533	544	526	500	519.8	522.71
	橫向距離	56.5	59	64	32.5	63.5	55.1	
剪去骨幹	遠近距離	515	497	511	495	517	507	506.8
	橫向距離	36.5	44	20	28.5	13.5	28.5	
剪去一層 塑膠羽	遠近距離	553	517	538	566	553	545.4	546.63
	橫向距離	36.5	35	31.5	30	50.5	36.7	
剪去兩層 塑膠羽	遠近距離	535	537	523	556	545	539.2	540.96
	橫向距離	47	29	21.5	53	67.5	43.6	
剪去三層塑 膠羽	遠近距離	521	521	520.5	546	502	522.1	522.2
	橫向距離	4	13	1	21	11.5	10.1	
斜剪兩層 留下疏羽	遠近距離	518	508	485	504	517	506.4	508.02
	橫向距離	41	18.5	47	51	45	40.5	
斜剪兩層 留下密羽	遠近距離	508	523	490	537	510	513.6	515.46
	橫向距離	14	20	62	40.5	82	43.7	
斜剪三層 留下疏羽	遠近距離	550	549	516	526	550	538.2	539.74
	橫向距離	31	34	59	49	31	40.8	
斜剪三層 留下密羽	遠近距離	508	523	520	539	495	517	519.11
	橫向距離	60.5	71	38.5	32	32	46.8	
抗風橘	遠近距離	492	503.5	511	514	525	509.1	509.2
	橫向距離	1	11	18	9	11	10	
抗風黃	遠近距離	521	504	495	519.5	518.5	511.6	508.02
	橫向距離	40	28	36	0	15	23.8	
抗風白	遠近距離	557	518	538	559	538	542	542.64
	橫向距離	46	14.5	1	31	39	26.3	

與無風時作比較後製成圖表，可得如圖 37：

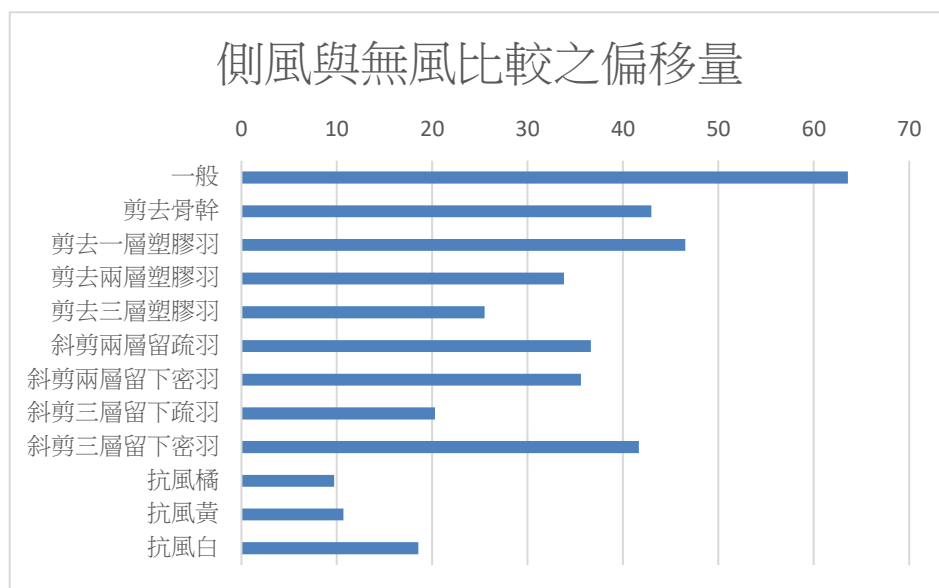


圖 37 側風與無風比較之偏移量

(四) 發現：

1. 無風時，塑膠羽平剪越多層，飛行距離越遠。平剪又較斜剪更遠。斜剪三層較斜剪兩層飛得遠，且留下疏羽又比留下密羽的距離遠。
2. 無風時，抗風系列球的飛行距離為：白 > 黃 > 橘。推測是噴氣式發球機對於重量越重的球，所能提供的推進力越不足所致。
3. 逆風時，一般塑膠球的表現都差不多，只有剪兩層塑膠羽的球比無風時偏移程度明顯較高，可能較易受風影響
4. 逆風時，抗風塑膠球比無風時的偏移程度：白 > 黃 > 橘，尤其橘色球只比無風時向後退了 8.8 公分，果然如包裝上所述有較佳的抗風能力。
5. 順風時，剪三層塑膠羽與斜剪三層留下疏羽的球都有較少的位移量。推測是塑膠羽面積較少，較不易被風帶動而吹遠。
6. 在側風實驗中可發現，塑膠羽面剪掉的層數越多，側向的位移程度就越小，推測塑膠羽的面積越大就越容易受風力影響。
7. 逆風與側風中，抗風系列三種球的抗風效果都較其他球來得佳，其中又屬重量最重的橘色最抗風。

五、研究羽球在垂直風洞中的旋轉情形

(一) 想法：

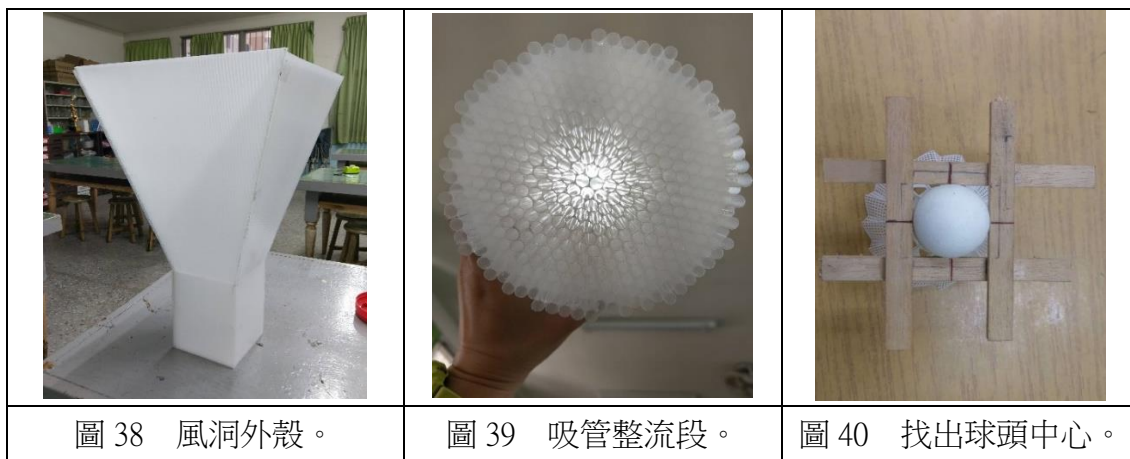
在進行不同形狀的羽毛球飛行實驗時，我們發現羽球在發球機發射時，偶爾會有幾顆極端的誤差球，我們認為這可能是因為，電扇吹出來的風並不是平整穩定的風，有可能會在某處形成不穩定的渦流，導致實驗的誤差。這讓我們想到在其它關於風阻的科展研究中，常會使用「風洞」來觀察物體受風後的情形。我們認為，羽球在正面受風時，會因為羽毛的排列而旋轉，受風程度越大，應該會旋轉得越快。於是我們也想自製一個風洞，用平穩的氣流來佐證與補足我們逆風實驗的結果，瞭解羽球在風洞中受風後的旋轉情形，與其在逆風環境中飛行的距離是否有關。

(二) 步驟：

1. 製作簡易垂直型風洞：

- 用 PP 塑楞板黏合成一個上方為收縮段，下方為整流段的簡易風洞外殼(圖 38)。
- 將吸管整齊排列以保麗龍膠固定，放入塑膠圓筒後再放入整流段(圖 39)。
- 找出球頭的正中心，用穿線的縫衣針刺入中心，以懸吊在風洞中(圖 40)。
- 將懸吊在風洞下的羽球其中一支羽毛塗上顏色，方便觀察計算圈數(圖 41)。
- 電扇垂直向下吹，用塑膠袋引導風流進收縮段，再向下流進整流段，最後再吹動測試段的羽球使其旋轉(圖 42)。

2. 開啟電扇，前 5 秒未達最大風速不計。(實驗測得測試段的穩定風速約為 4.0m/s)



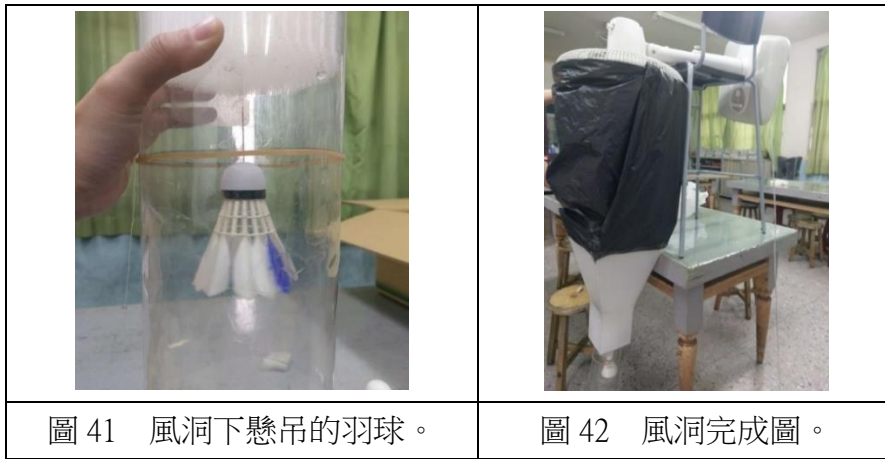


圖 41 風洞下懸吊的羽球。

圖 42 風洞完成圖。

3. 持續吹拂 10 秒鐘並以慢速攝影記錄轉圈的次數。
4. 將球頭自針上取下，更換下一顆球，重覆上述實驗。

(三) 結果：

1. 羽毛球在垂直風洞 10 秒鐘的旋轉圈數。

羽球種類	一般羽球	剪 4 支 羽毛	剪 8 支 羽毛	剪去外翅	剪去內翅	剪去 上半翅	剪去 下半翅
圈數 (10 秒鐘)	22.5	82	97	14.5	89	27.5	17

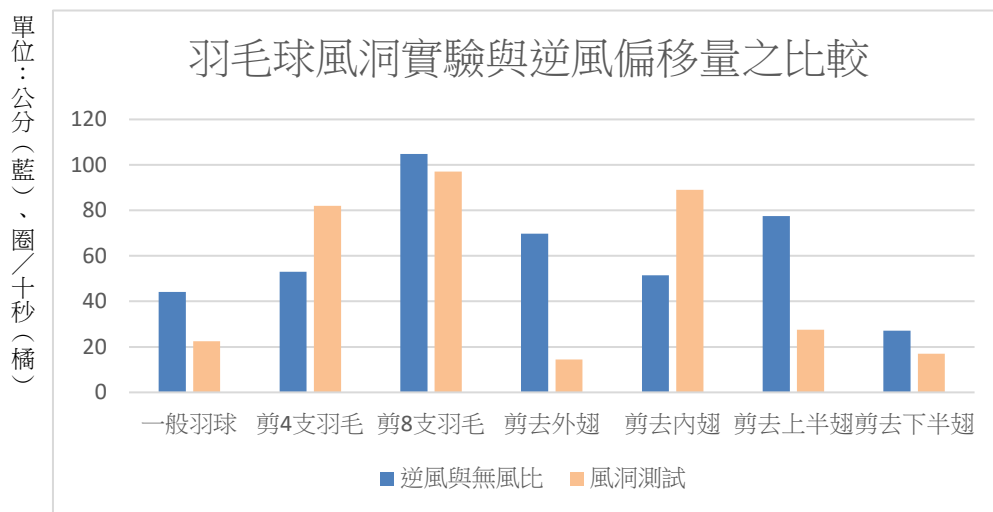


圖 43 羽毛球風洞實驗與逆風移動量之比較圖

垂直風洞的風來自球頭，因此我們將風洞實驗的數據，拿來與逆風與無風比的偏移量來比較，並作成比較圖如圖 43：

2. 塑膠球在垂直風洞 10 秒鐘的旋轉圈數

塑膠球種類	一般	剪去骨幹	剪去一層塑膠羽	剪去兩層塑膠羽	剪去三層塑膠羽	斜剪兩層留下疏羽	斜剪兩層留下密羽	斜剪三層留下疏羽	斜剪三層留下密羽	抗風橘	抗風黃	抗風白
圈數	20	25	27	25	26	23	25	14.5	28.5	19	13	13

風洞圈數跟逆風與無風時相比的偏移量來比較，比較如圖 44：

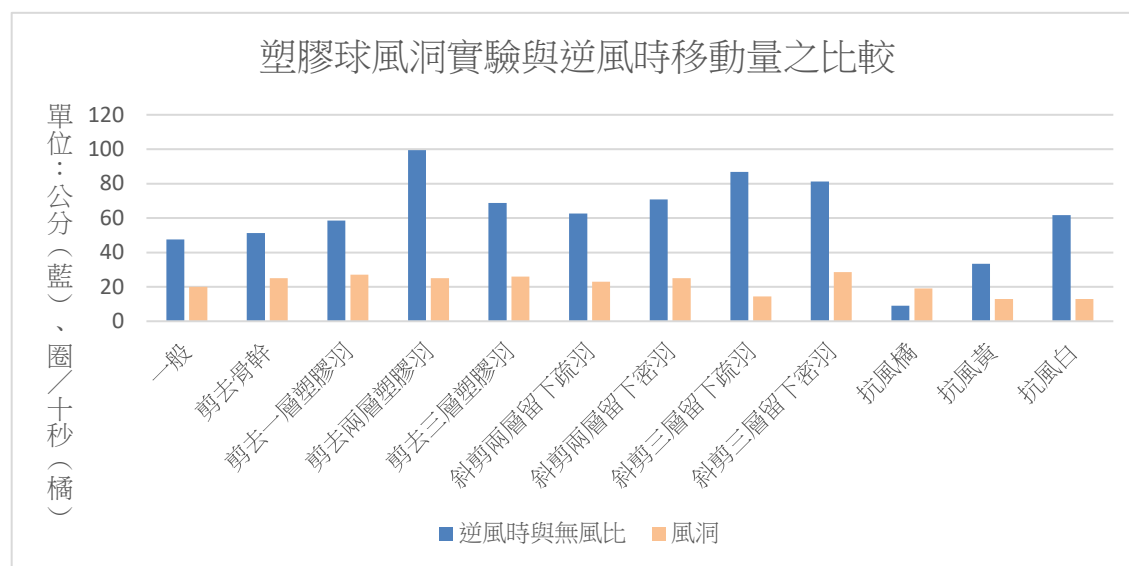


圖 44 塑膠球風洞實驗與逆風時偏移量之比較圖

(四) 發現：

1. 在羽毛球的風洞實驗中，除了剪去外翅與內翅的兩組數據外，我們發現逆風時位移距離越多的球，在風洞中的旋轉速度也越快，也就是越容易受風影響。風洞實驗證明我們的電風扇逆風實驗是有一定可信度的。
2. 我們發現剪去外翅的羽球在風洞中轉動速度比剪去內翅的羽球慢很多，我們推論羽球正面受風時，外翅對於受風的影響程度較大。
3. 塑膠球的逆風與風洞實驗的比較，看不出什麼規律性或明顯的差異，塑膠球在風洞中轉動皆不多圈，我們之前實驗有注意到塑膠球飛行時原本就沒有旋轉得像羽球那麼快，因此我們認為塑膠球並不適合用風洞來比較結果。

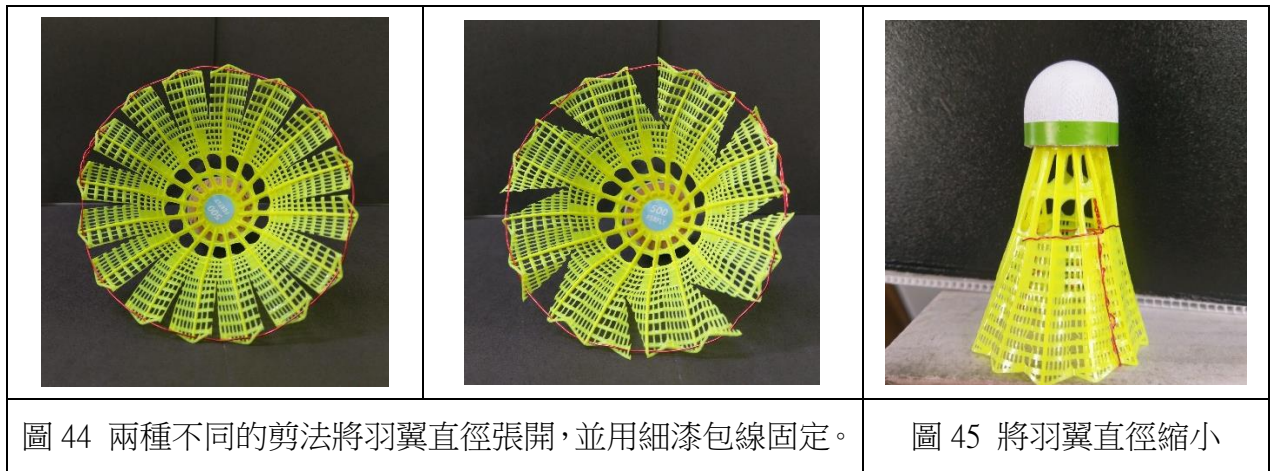
陸、結論

- 一、市面上的抗風塑膠球的確有抗風效果，重量越重其抗風效果越好，但我們打擊起來的感覺與一般球差很多，反而飛很遠，推測可能跟不在我們研究範疇的球頭材質有關。
- 二、無風時，有修剪的羽毛飛行距離皆比未修剪的來得遠。
- 三、羽球剪 8 支羽毛在順風及側風環境下抗風力最佳，但逆風中容易晃動，若未來能藉由改變球的重心等其他實驗彌補，剪 8 支羽毛可能會是我們製作抗風球時的最佳剪法。
- 四、剪掉下半翅的羽毛球在逆風時有最佳的抗風表現，在順風及側風環境的表現也僅次於剪 8 支羽毛的球，也是值得繼續作為延伸實驗的對象。
- 五、在塑膠球順風及側風的環境中，塑膠羽面剪掉的層數越多，偏移程度就越小，推測塑膠羽的面積越大就越容易受風力影響。
- 六、羽球斜向排列的羽毛使得球在受風時會旋轉，實驗中我們可發現受風程度越大、風洞中的旋轉速度越快、飛行距離也越短。
- 七、塑膠球飛行時旋轉不明顯，較不適合用風洞來做測試。
- 八、綜合羽球與塑膠球的表現，可以考慮朝重量加重、羽毛對稱但面積減少的方向來研發適合戶外使用的羽球。

柒、省思與展望

- 一、我們知道羽毛其實還有很多剪法，實驗還有很多可討論的空間，礙於今年開學的時程變動，還有一代發球機失敗導致實驗重來，我們能研究的很有限，因此希望以這篇做為「初探」，希望還有機會能更深入去研究，甚至做出一顆能申請專利的球，作為如小學空地、戶外公園都可簡單進行球類休閒的一個選擇。
- 二、在研究抗風系列的球時，我們也將球的重量做為操縱變因設計了延伸實驗，可發現越重的球的確會越不容易受到風力影響，位移量較低，但整體數據只是接近這個趨勢，並非呈現剛好的梯度變化，推測影響飛行的可能不單純只考慮總重量，重心的分佈可能也是因素之一。

三、我們還想到羽翼的直徑也是影響空氣阻力的一個變因，我們試圖做出羽翼直徑較大或較小的球（如圖 44、45），但還不是做得很完善，希望以後有更多的時間來繼續探究。



捌、參考文獻

- 一、南一出版社（2019）·國小自然與生活科技三上（第一冊）·臺南市：南一書局企業股份有限公司。
- 二、南一出版社（2019）·國小自然與生活科技五上（第五冊）·臺南市：南一書局企業股份有限公司。
- 三、羽毛球的空氣動力（阻力與減速）
<https://kknews.cc/zh-tw/sports/3nvezjg.html>
- 四、鄒經宇（1977）·風洞的製作與探討。第 17 屆全國中小科學展覽作品。
- 五、蕭舜鴻、吳冠賢、林坤霽（2007）·談紙神功－紙飛機的滑翔研究。第 47 屆全國中小科學展覽作品。
- 六、陳品文、邱健紘、宋品孝（2017）·斷尾球「生」~探討羽球羽毛對飛行的影響。第 57 屆全國中小科學展覽作品。

【評語】 080114

本作品欲探究戶外低風阻羽球，參考「快速羽球」產品設計以及 57 屆全國科展作品「自造發球機」等器材，對於市售羽球進行改造與探究其空氣阻力與飛行軌跡。研究過程能運 TRACKER 的軟體進行運動軌跡的分析，但僅著重於距離或位移等結果分析，可加強對於速率等動態參數的分析。

摘要

在球場缺乏的小學校園中，我們常看到許多同學在戶外打羽球，但打著打著，卻會因風力的因素使得球偏移難打。為此我們想研究，什麼造形的羽球與塑膠球能有較低的風阻，打起來比較不會受影響呢？我們嘗試了剪出各種造型的羽球與塑膠球，在室內營造出逆風、順風及側風的環境，測量它們受風後的位移程度，來瞭解什麼樣的球比較不怕風吹，並且在垂直風洞中驗證我們的實驗結果。我們得到的結論是，若想降低羽球的風阻，可以朝將球的重量加重、然後採對稱的剪法減少大部份羽毛面積這個方向去嘗試，未來還可加入改變羽翼直徑的做法來發展新型的羽球。

壹、研究動機

羽球在我們學校是相當風行的運動，即使是短短的下課十分鐘，大家也都會拿著球拍奔向球場打球。但學校的球場有限，搶不到球場的人，就會在學校的空地上打。但戶外的風總是捉摸不定，有時強，有時弱；有時從旁邊吹，有時從正面來。這讓我們想到了，如果能夠研究出一款適合在室外打，不易受到風力影響的羽球，這樣大家下課時就不用再搶球場。且如果能推廣出去，羽球也能更適合全家大小在外面的公園一起同樂，不會受到場地的限制。

貳、研究目的

- 一、分析市售羽球與塑膠球之差異。
- 二、製作羽球發球機。
- 三、探討羽毛外型對於羽球飛行能力之影響。
- 四、探討塑膠羽外型對於塑膠球飛行能力之影響。
- 五、研究羽球在垂直風洞中的旋轉情形。

參、研究設備及器材

自製發球機	松木條、鐵釘、彈簧鉸鍊、不要的羽球拍、白鐵水管固定夾、塑膠水管固定夾
空壓發球機	9L空氣壓縮機
羽球	高級鴨毛羽球、塑膠球、低風阻塑膠球
其他器材	油土、風速計、5m捲尺、50m捲尺、工業型電風扇、延長線、塑膠瓦楞板、吸管、縫衣針線

肆、文獻探討

一、戶外低風阻羽球相關產品之蒐集：

我們找到有款名為「快速羽球」的產品，英文為「Speedminton」，標榜不怕風吹，能在戶外進行。但它的球拍、所需空間與規則都跟羽球不同，因此與我們研究的初衷不符，但它的尼龍球還是讓我們在改良低風阻球時能作為參考。另外還有一款「戶外用塑膠羽毛球」，分成三個顏色，分別有三種程度不同的抗風效果，也作為我們研究的對象之一。



戶外羽球Speedminton及其球拍

二、相關科展作品研究：

相關研究中，我們主要參考了「斷尾求『生』~探討羽球羽毛對飛行的影響」這篇作品。它提及了風洞的製作，以及用空氣壓縮機來作為羽球發球機，在研究方法上給了我們很好的參考。另外，該研究對於羽球的羽毛外型做了很仔細的分析，不論是羽毛有內外的大小翅之分，還有羽毛的對稱性對於飛行的影響，都納入了我們的研究範圍中。



「戶外塑膠羽毛球」一組三色

伍、研究過程與步驟

一、分析一般羽球與塑膠球之差異：

(一) 各種球款價格與打感分析

球種	平均價格 (元/每個)	打感心得	是否保留
M牌比賽級鵝毛羽球	47.5	球頭較硬，飛行穩定，飛行距離適中，羽毛耐用不易岔開。	
R牌練習級鴨毛羽球	30.8	擊球感佳，飛行穩定，距離適中。	✓
S牌練習級鴨毛羽球	11.6	球頭偏軟，飛不遠，羽毛容易岔開。	
V牌人造羽球	51.6	球頭較硬，擊球後球頭微晃，飛行距離稍遠，人造羽強韌耐用。	
D牌標準型塑膠球	33.1	擊球感不紮實，但飛行穩定，飛行距離稍短一些。	✓
D牌抗風型塑膠球(橘色)	49.3 (一組三款球)	擊球感似彈力球，輕輕一擊會飛很遠，速度很快。	✓
D牌抗風型塑膠球(黃色)		球頭很彈，可以飛很遠，不過距離與速度都較橘色款低一些。	✓
D牌抗風型塑膠球(白色)		擊球後球頭易晃，飛行距離中等。	✓
N牌塑膠羽球	14.2	球頭的泡棉很軟，用力打也飛不遠，大家都覺得難打。	

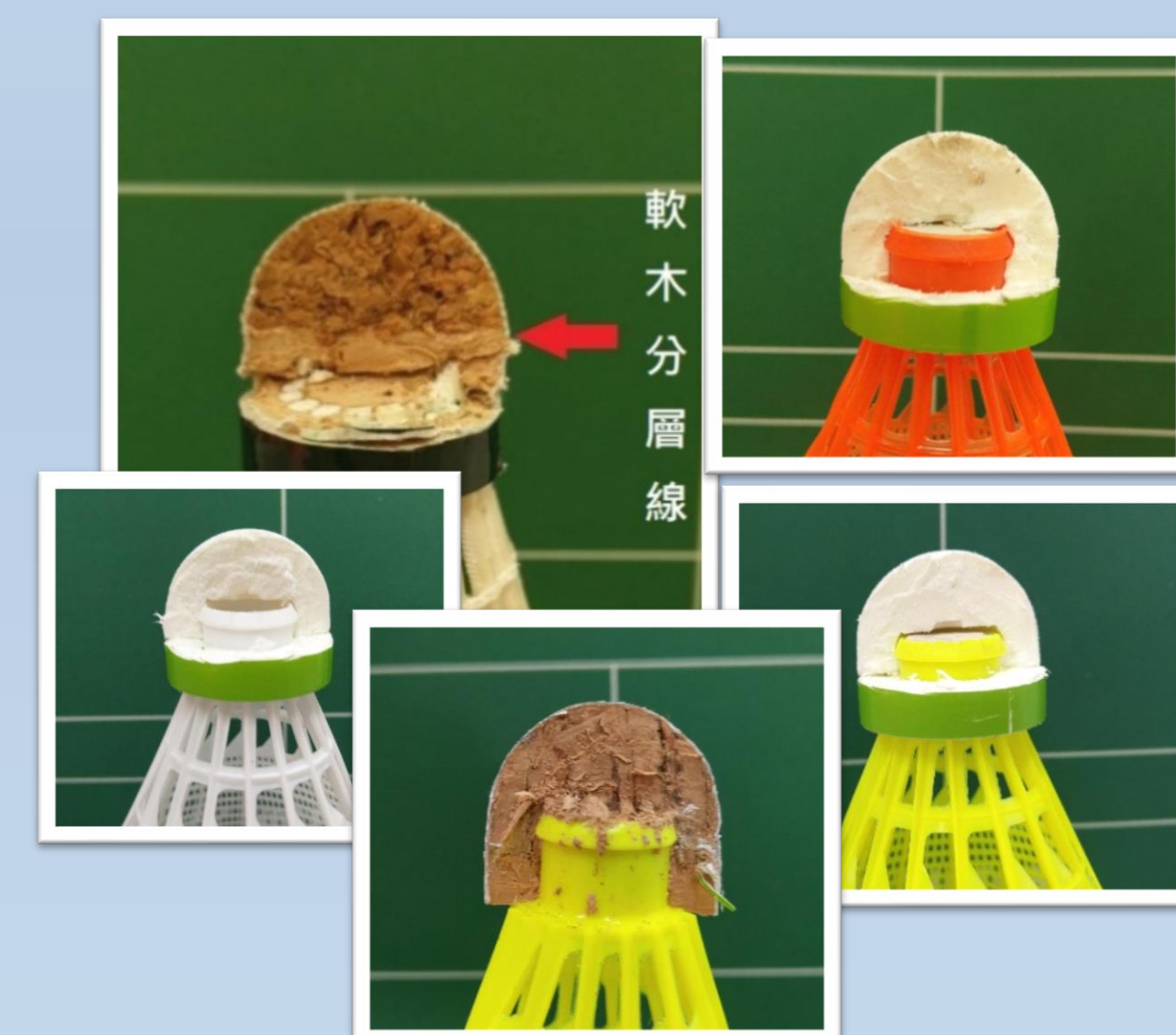
(二) 球類基本分析：

比較項目 羽球種類	羽翼材質	球頭材質	重量(g)	高度(cm)	羽翼張開直徑(cm)
R牌練習級羽球	高級鴨毛	複合軟木	4.86	8.4	6.5
D牌標準型塑膠球	聚醃纖維	軟木	5.28	7.6	6.6
D牌抗風型塑膠球(橘色)	聚醃纖維	EVA泡棉	8.72	7.3	6.5
D牌抗風型塑膠球(黃色)	聚醃纖維	EVA泡棉	7.74	7.3	6.5
D牌抗風型塑膠球(白色)	聚醃纖維	EVA泡棉	6.43	7.3	6.5

※同種球的重量仍有些許不同，誤差幾乎都在0.3g以內，我們各取三顆計算平均重量並記錄之。

發現：

1. 可以發現無論羽毛球或塑膠球，羽翼張開的直徑都幾乎相同，約為6.5公分寬，應是較適合羽球飛行的一個羽翼寬度。
2. 重量方面，四種塑膠球皆比羽毛球來得重，且抗風的三款球又比普通的塑膠球更重。抗風三款球的重量比較分別是：橘色>黃色>白色，而其標榜的抗風效果也是橘色>黃色>白色，因此我們推論塑膠球是否抗風與其重量有關，此一結果還需待後面實驗驗證之。
3. 高度方面，羽球的高度最高，其次是普通塑膠球，三款抗風球最矮，足足比羽毛球矮了1.1公分。

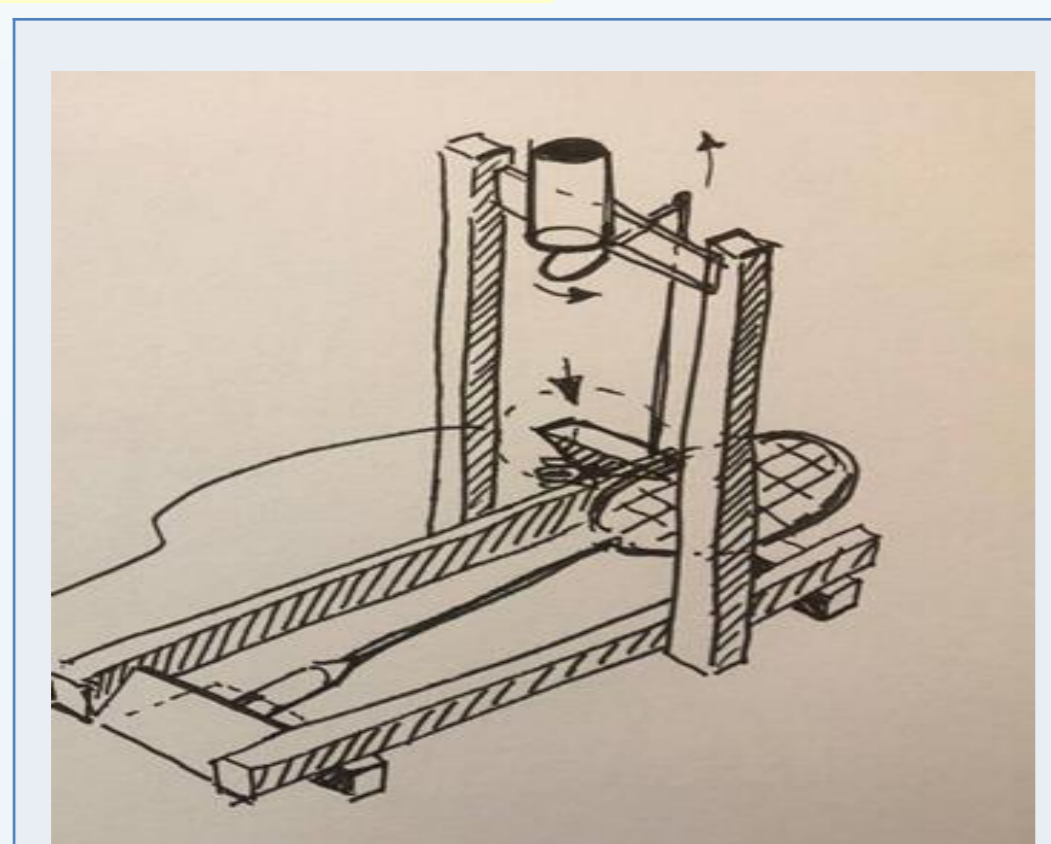


球頭主要可分為軟木與泡棉兩種材質，但這部分是我們難以控制與改造的，所以我們後面的實驗決定將球頭做為保持不變變因，優先嘗試將羽球的其他部位進行改造。

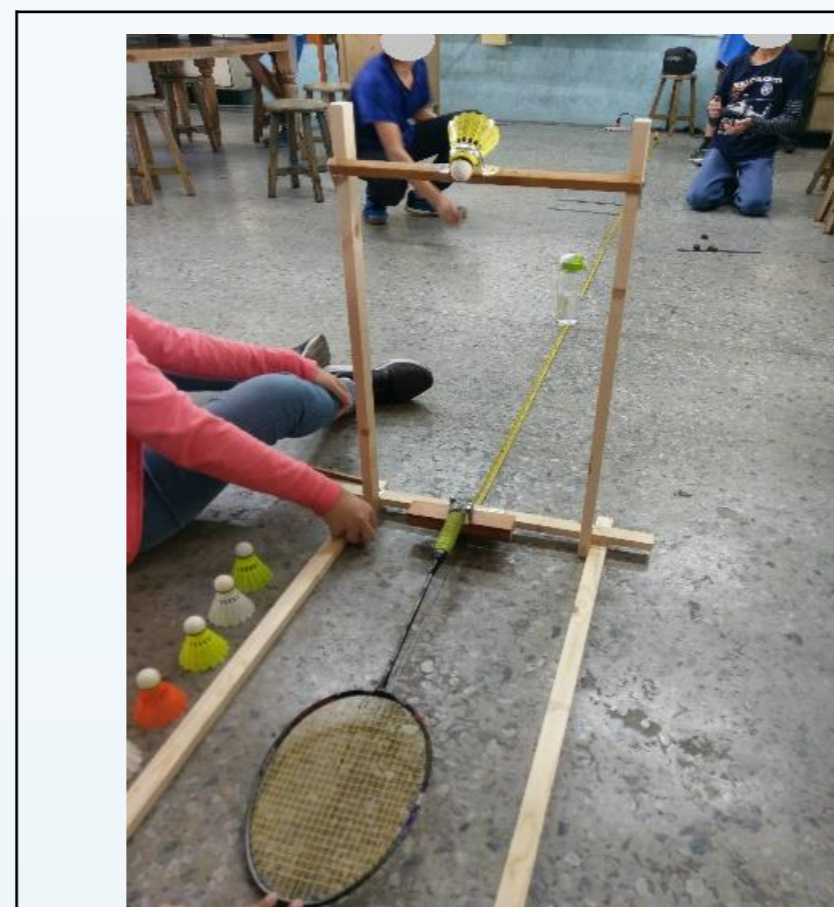
二、自製羽球發球機：

想法：為了後續測試各種羽球的飛行狀況，我們首先想到應製作一台羽球發球機，確保每一次發球都是使用固定的力擊出的，為實驗中的保持不變變因。

第一代羽球發球機設計概念如下：



第一代彈力型發球機
概念設計圖



自製彈力型發球機
(預備狀態)



放開後，球拍因彈簧鉸鍊的彈力而揮頭向前，擊中置球架上的羽球球頭。



後來發現發球時的拋物線角度太低，改將發球機置於桌上，便可得到較遠的發球距離。

結果：彈力太強，第一支球拍中桿斷裂，第二支拍線斷掉。

失敗

第二代羽球發球機：

由於第一代發球機的陣亡，導致前面實驗得全數重來，礙於時間因素，我們參考了文獻中「斷尾求生」~探討羽球羽毛對飛行的影響」這篇的方法來製作新的羽球發球機。

此發球機利用空氣噴射的力量來發球，缺點是無法將球頭材質的彈力差異給考慮進來，但剛好我們將球頭材質做為保持不變變因，因此便沒有影響了。



將空壓機的噴槍固定於第一代發球機的木框上，使其仰角固定。



塑膠球的球頭經塑型過，以鑽孔機穿孔，插在壓縮機的噴嘴上，作為球托。



將要發射的羽球放置球托上，以仰角45°發射出去。

三、羽毛外型對於羽球飛行能力之影響：

想法：我們想知道羽毛球的羽毛支數、內外翅的修剪、以及羽毛長短會如何影響羽球飛行的距離，還有它們受到逆風、順風和側風的風力影響的程度，找出發展低風阻羽球的關鍵。

步驟：

1. 將羽毛球的羽毛做對稱性的修剪。



一般未經修剪的羽球



對稱剪去4支羽毛



對稱剪去8支羽毛



剪掉外翅



剪掉內翅



剪掉上半翅



剪掉下半翅

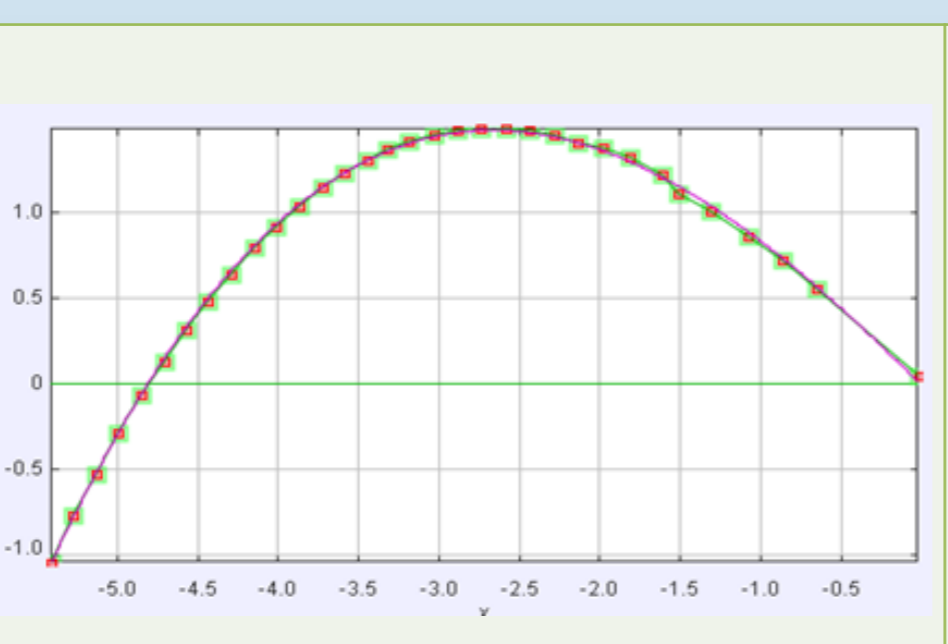
2. 以電子秤測量每顆球，與未修剪的一般羽球比較重量，不足的以油土壓在球頭裡側來增加重量。

3. 在不同方向擺放電風扇來製造逆風、順風及側風的環境，利用手機慢動作攝影找出發球機的球飛行路徑後，配合風速計找出電風扇的氣流是否有確實吹到飛行路徑上。我們參考了校園中平常大家會打羽球的空地測量風速，風速大小約為1.7m/s~2.5m/s之間，並以此參考調整風扇的風力大小，控制實驗時的風速不低於戶外風速。

4. 按壓空壓機發球，在落點處放置大顆螺帽作記號，並確保每次發射的氣壓都充足，多次發射後取位置較集中的五顆球，記錄遠近與橫向的距離。



利用手機錄影觀察羽球的飛行路徑，找出合適的受風位置。



Tracker軟體分析各種球的飛行軌跡。



作為逆風風源之電扇



作為順風風源之電扇

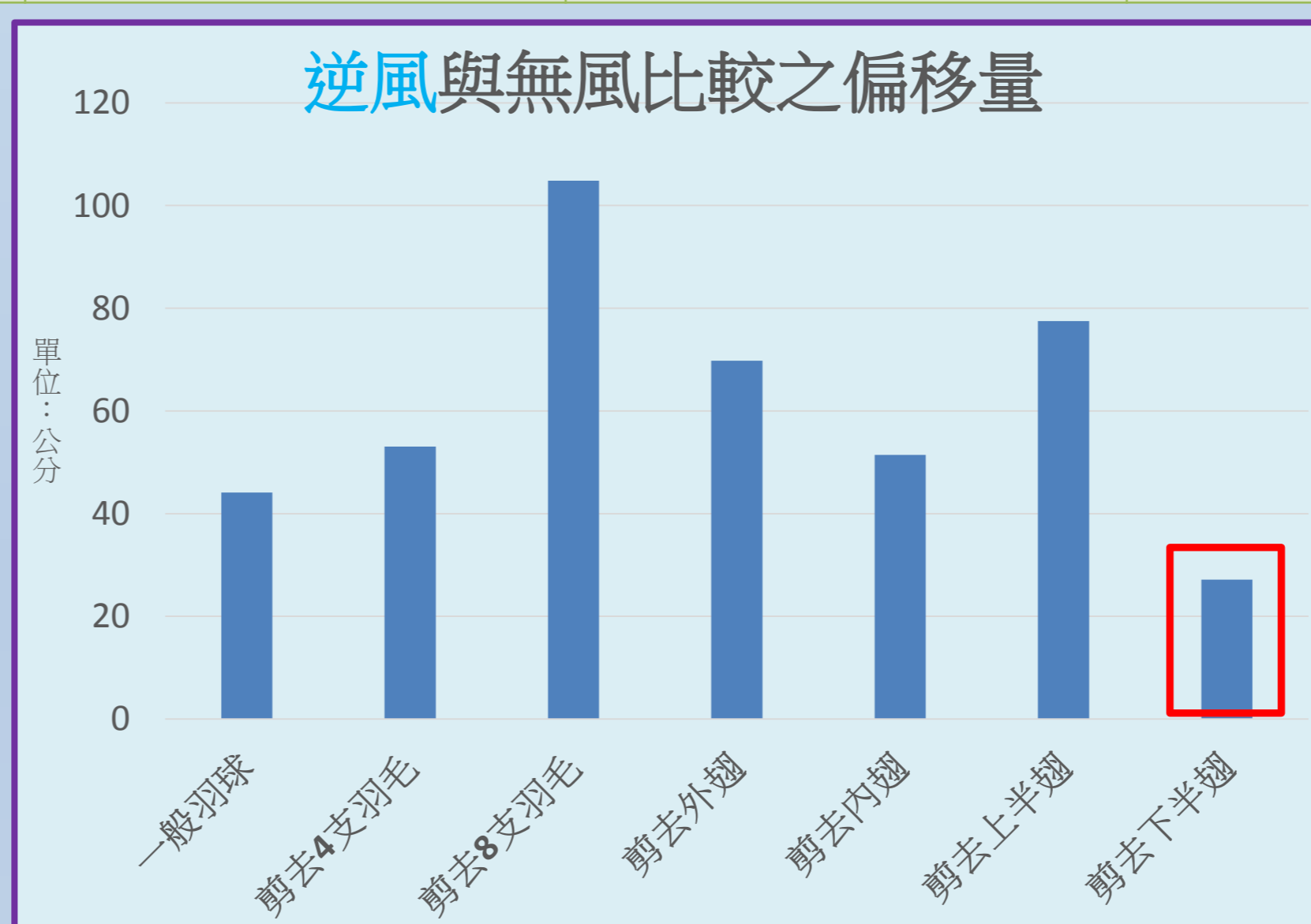
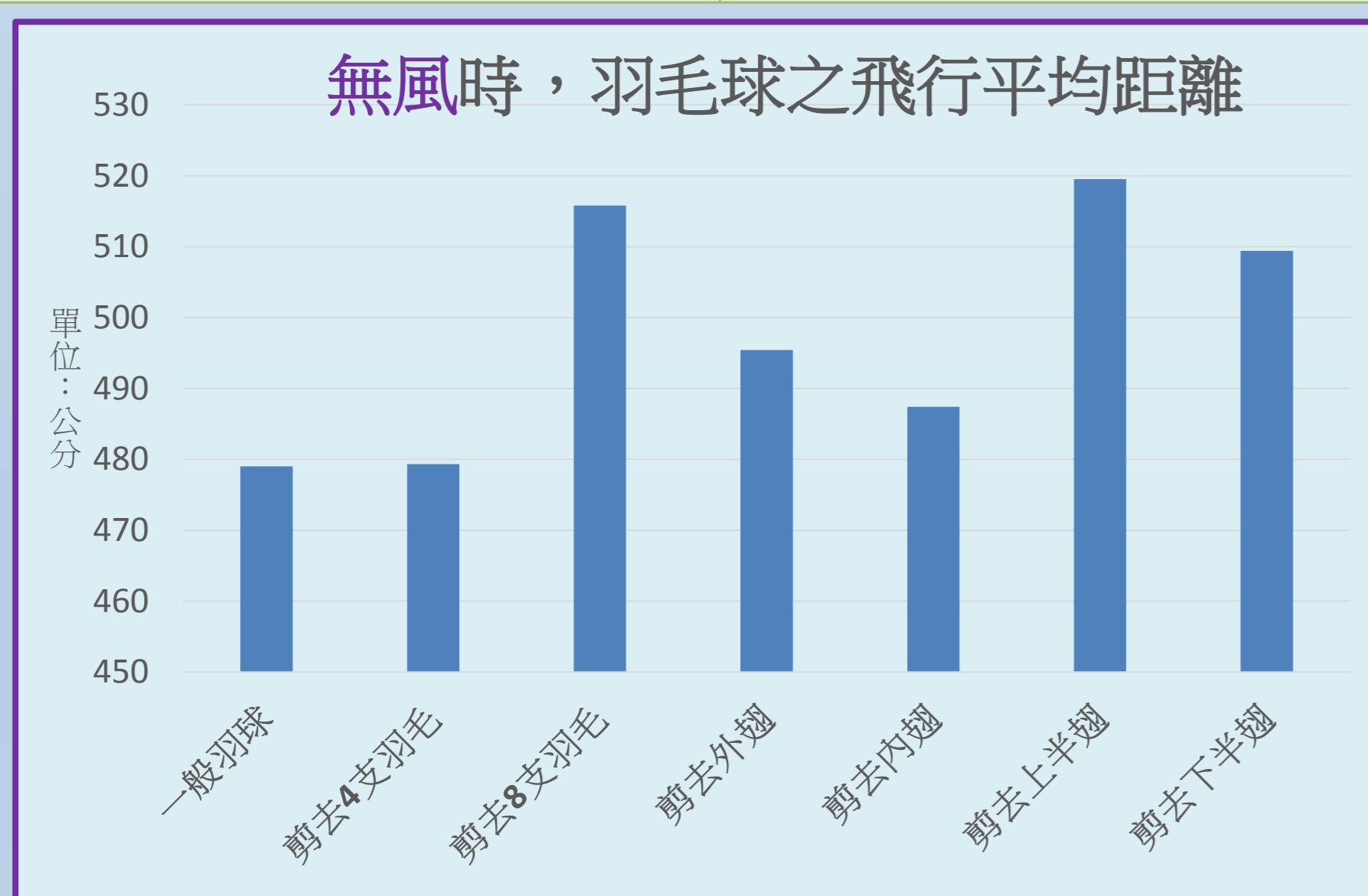


由於單一電扇用於側風的受風面積小，因此使用兩支電扇作為側風風源。



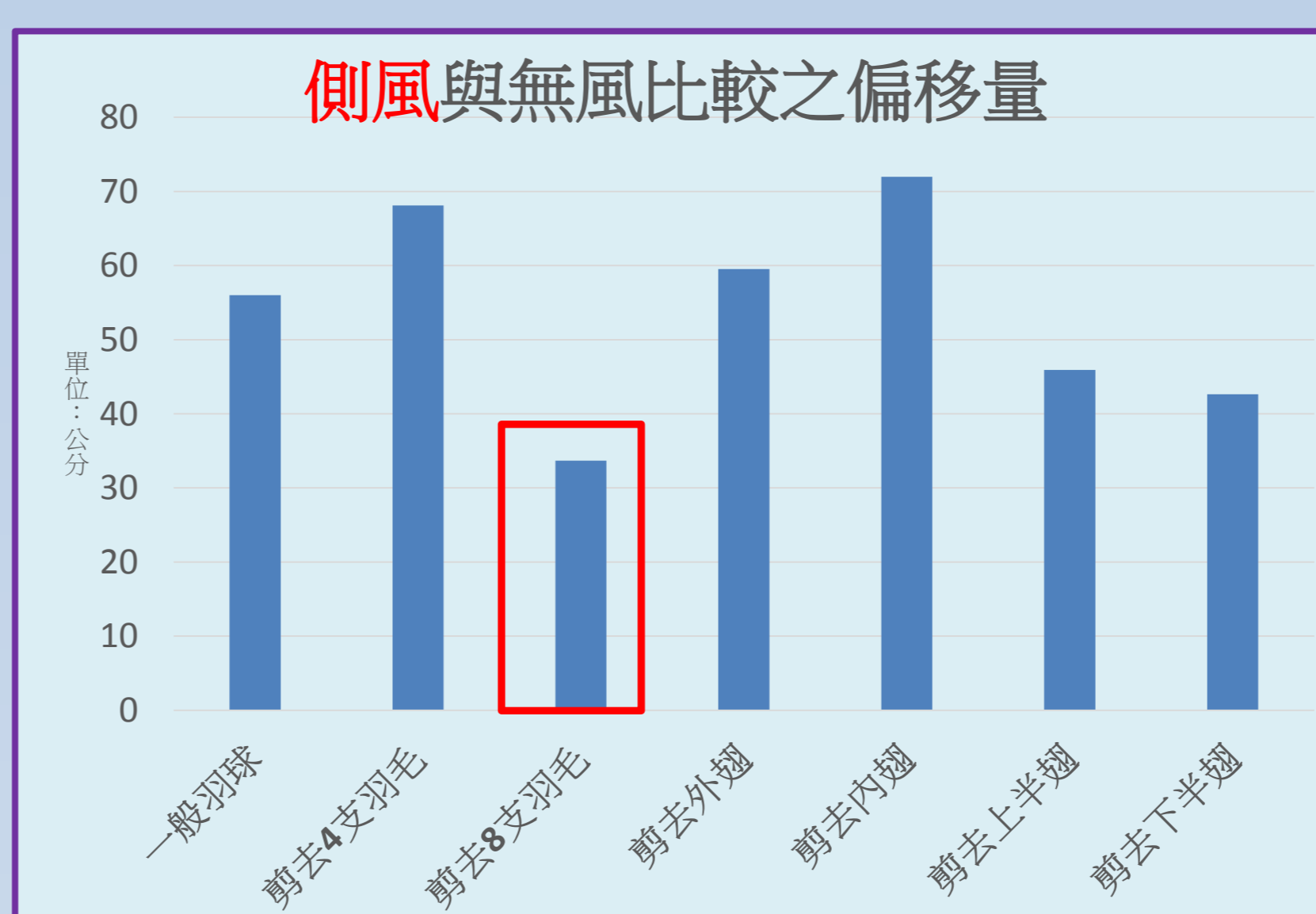
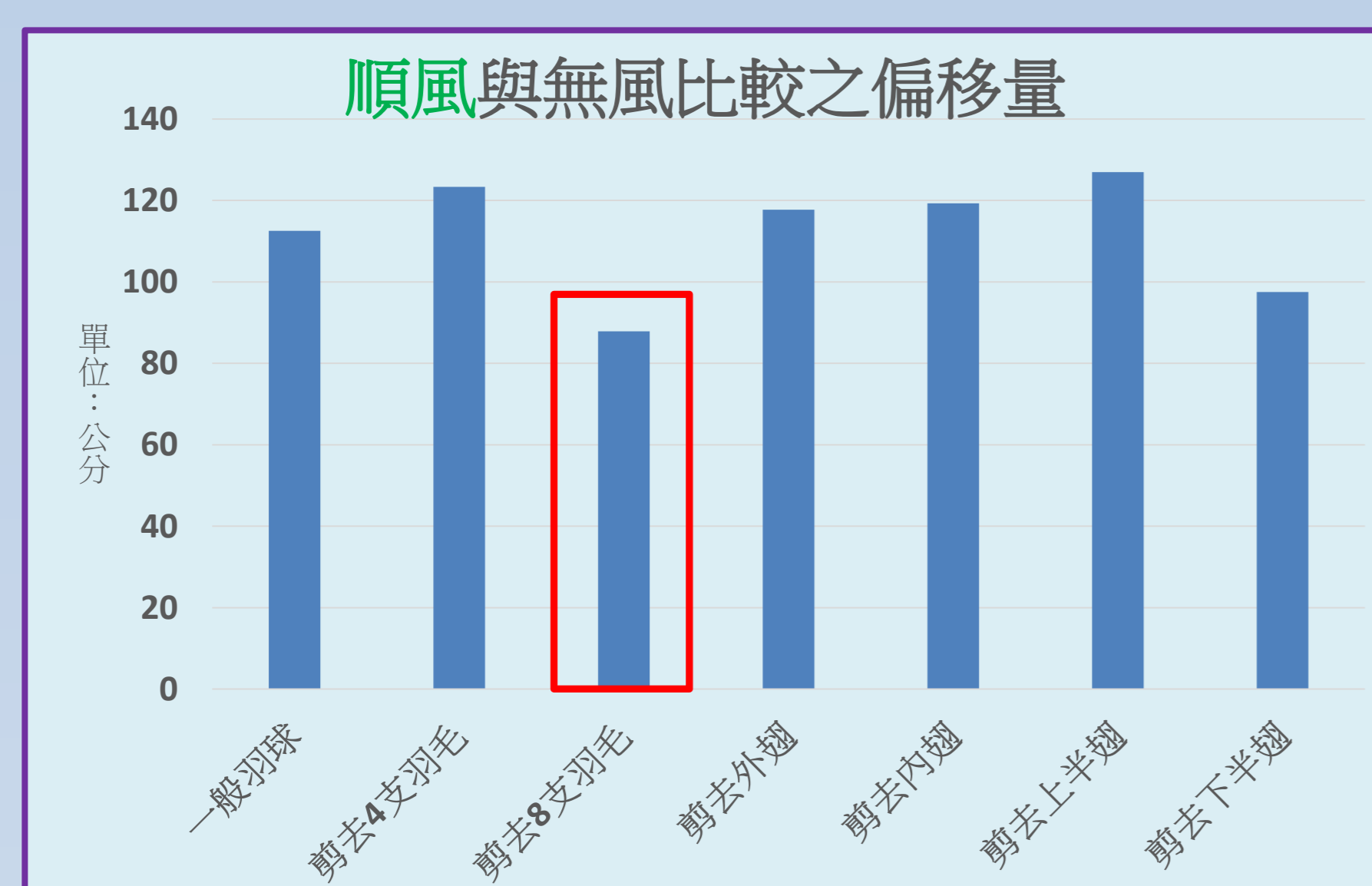
測量遠近與橫向之距離。

結果：



發現：

1. 在無風狀態時，一般羽球的飛行距離最短，表示我們的修剪法皆會造成羽球飛行時的阻力減少。
2. 從無風的圖表推論，羽毛支數越少，風阻可能越小。
3. 在逆風時，剪8支羽毛的羽球反而飛行距離最短。我們推測剪去過多羽毛會使球在逆風狀態下容易晃動。
4. 剪8支羽毛的羽球在順風及側風環境下偏移量皆最少，顯示其對應順風及側風環境有較佳的抗風效果。
5. 剪去外翅與剪去內翅的羽球，飛行距離上沒有明顯的差異。
6. 剪去上半翅的羽球在無風時飛行距離最長，而剪掉下半翅的羽球在逆風與側風時分別有最佳及次佳的抗風表現，觀察飛行情形也發現剪去下半翅的球比剪去上半翅來得穩定。

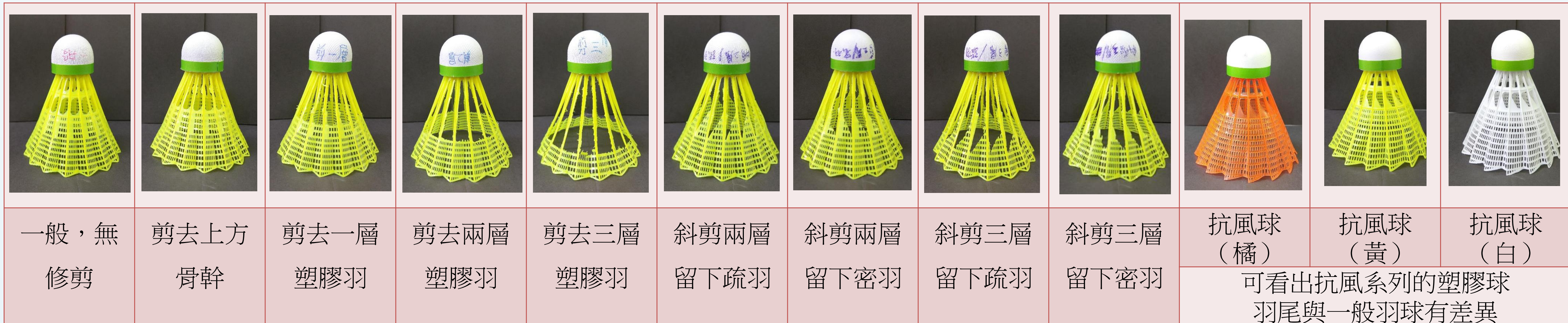


四、塑膠羽外型對於塑膠球飛行能力之影響：

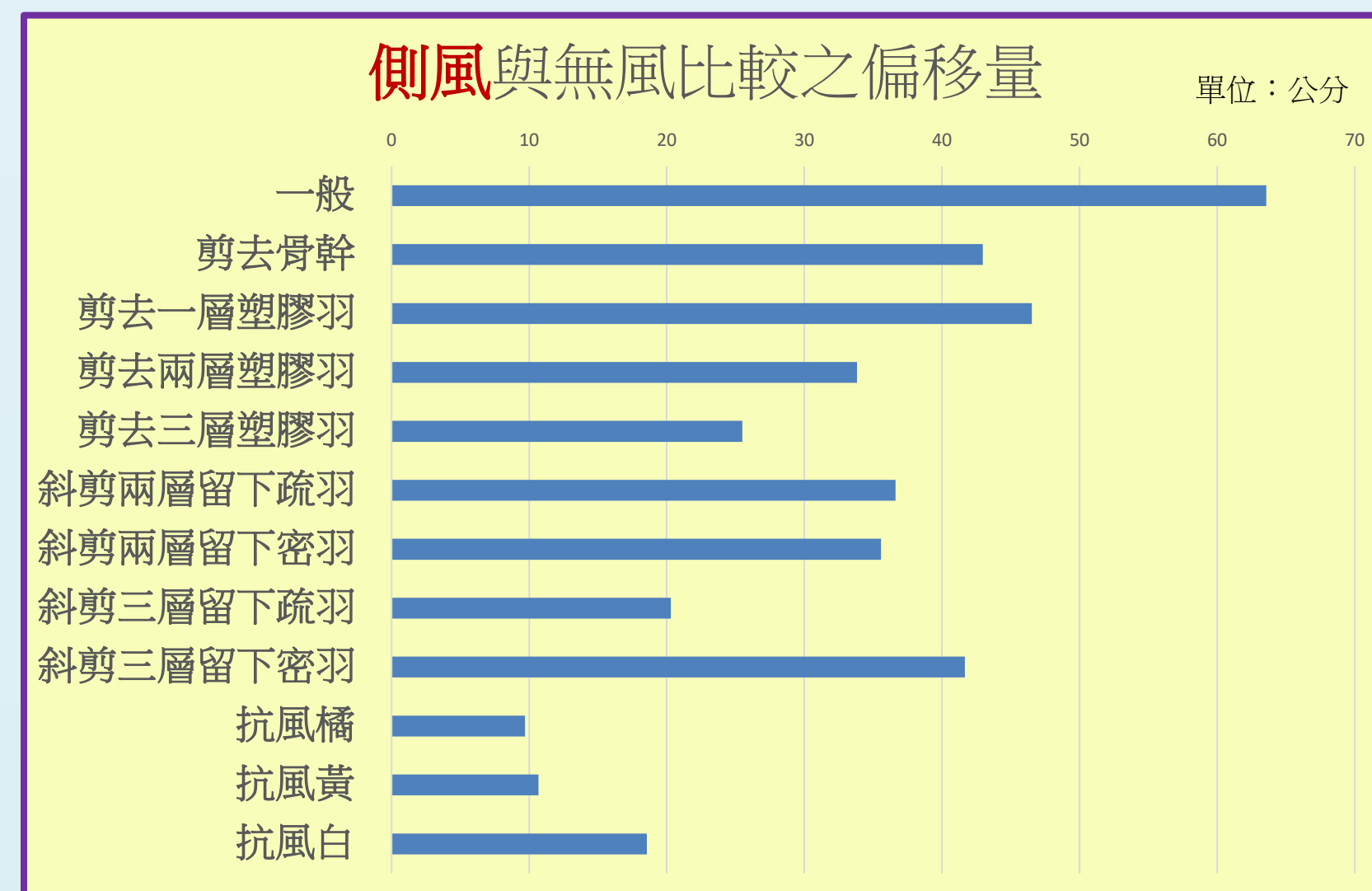
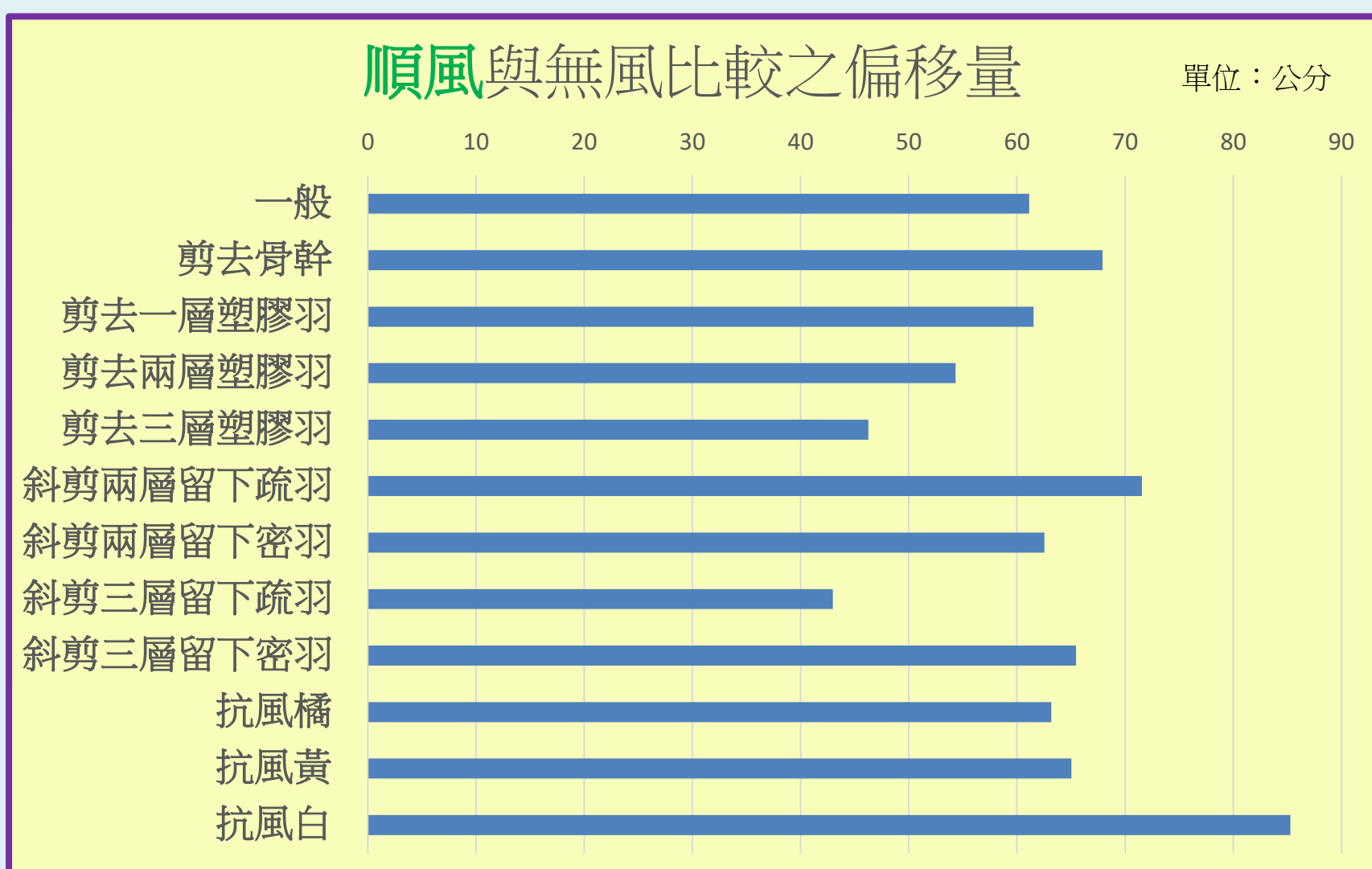
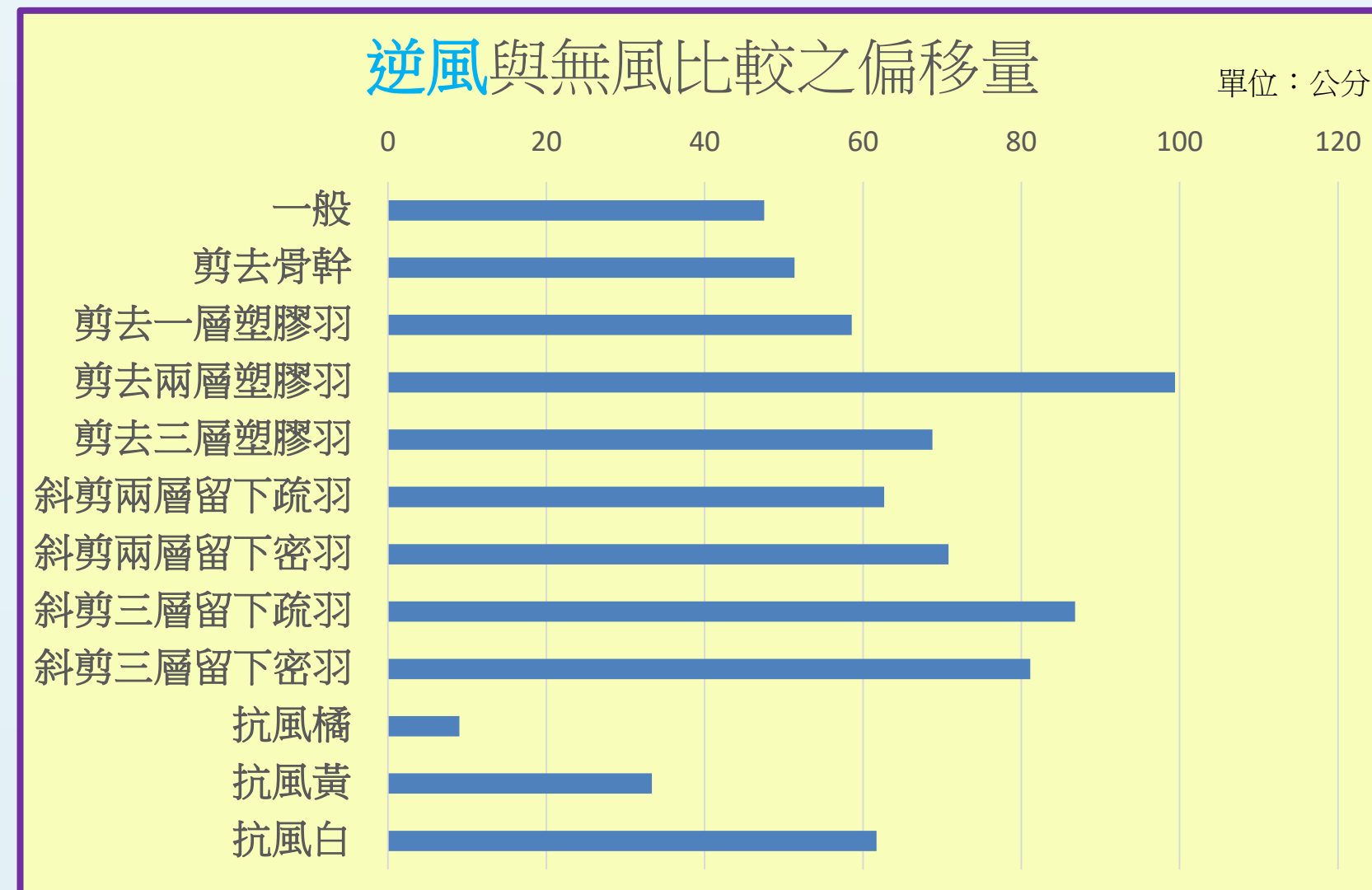
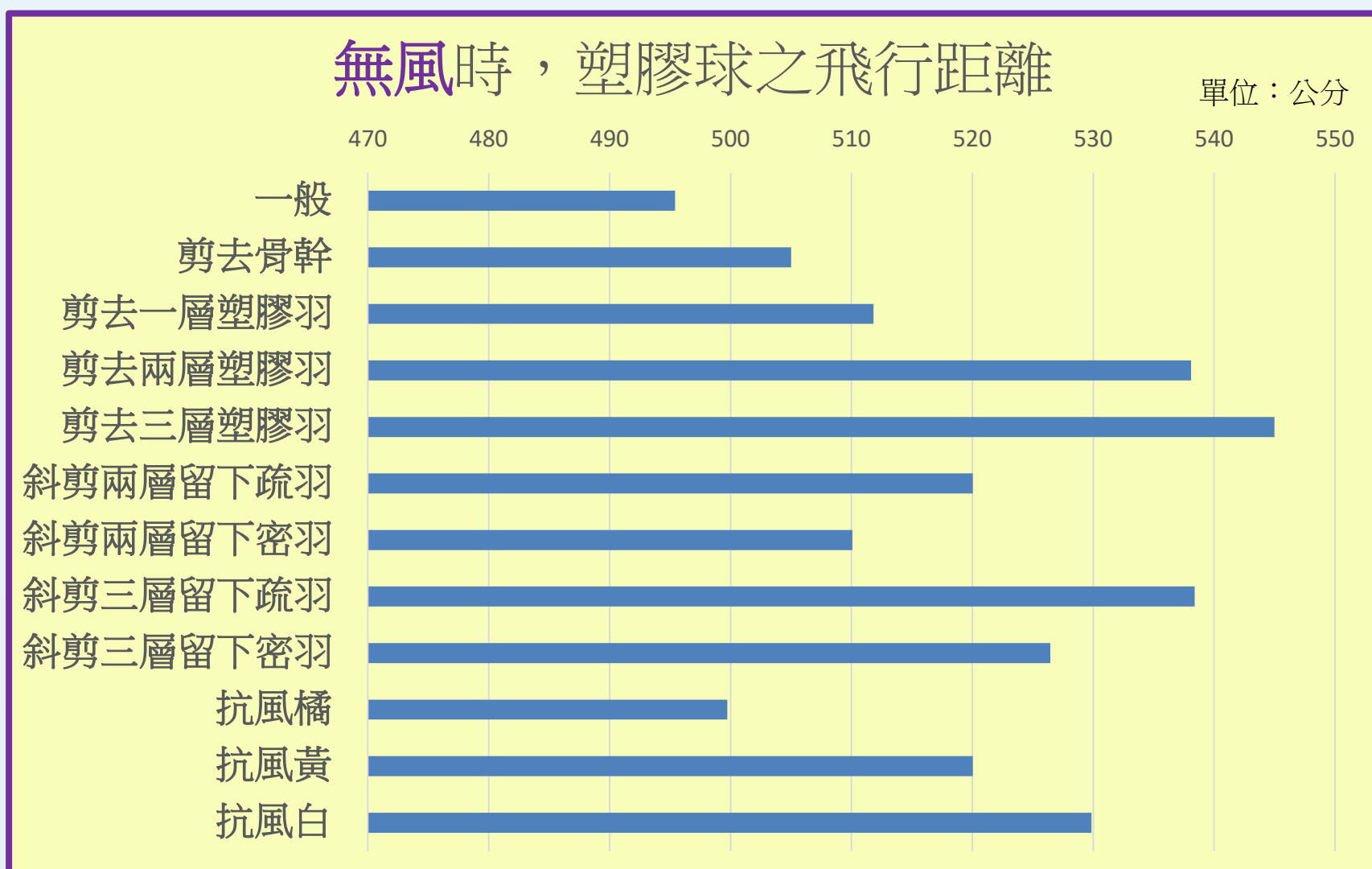
想法：考慮到小學生的打球習慣，以及歷屆科展中對於塑膠球的研究較少，因此我們將容易裁剪的塑膠球納入實驗的對象，以及標榜有抗風效果且同樣是塑膠材質的「戶外塑膠羽球」也放入本實驗中一起比較。

步驟：

1. 將塑膠球的塑膠羽進行修剪。
2. 以電子秤測量修剪過的球與未修剪的相比，不足的重量以油土壓在球頭裡側來補足，抗風球的重量不做調整。
3. 同前面羽毛球實驗，在不同方位擺放電風扇來製造逆風、順風及側風的環境。



結果：



發現：

1. 在無風時，塑膠羽剪越多層，飛行距離越遠。
2. 在無風時，抗風系列球的飛行距離為：白>黃>橘。
3. 在逆風時，一般塑膠球的表現都差不多，只有剪兩層塑膠羽的球比無風時位移程度明顯較高，可能較易受風影響。
4. 在逆風時，抗風塑膠球比無風時的位移程度：白>黃>橘，尤其橘色球只向後退了8.8公分。
5. 在順風時，剪三層塑膠羽的球都有較少的位移量。推測是塑膠羽面積較少，較不易被風帶動而吹遠。
6. 在側風中可發現，塑膠羽面剪掉的層數越多，側向的位移程度就越小，推測塑膠羽的面積越大就越容易受風力影響。
7. 在側風與逆風中，抗風三種球的抗風效果都較其他球佳，其中又屬重量最重的橘色最抗風。

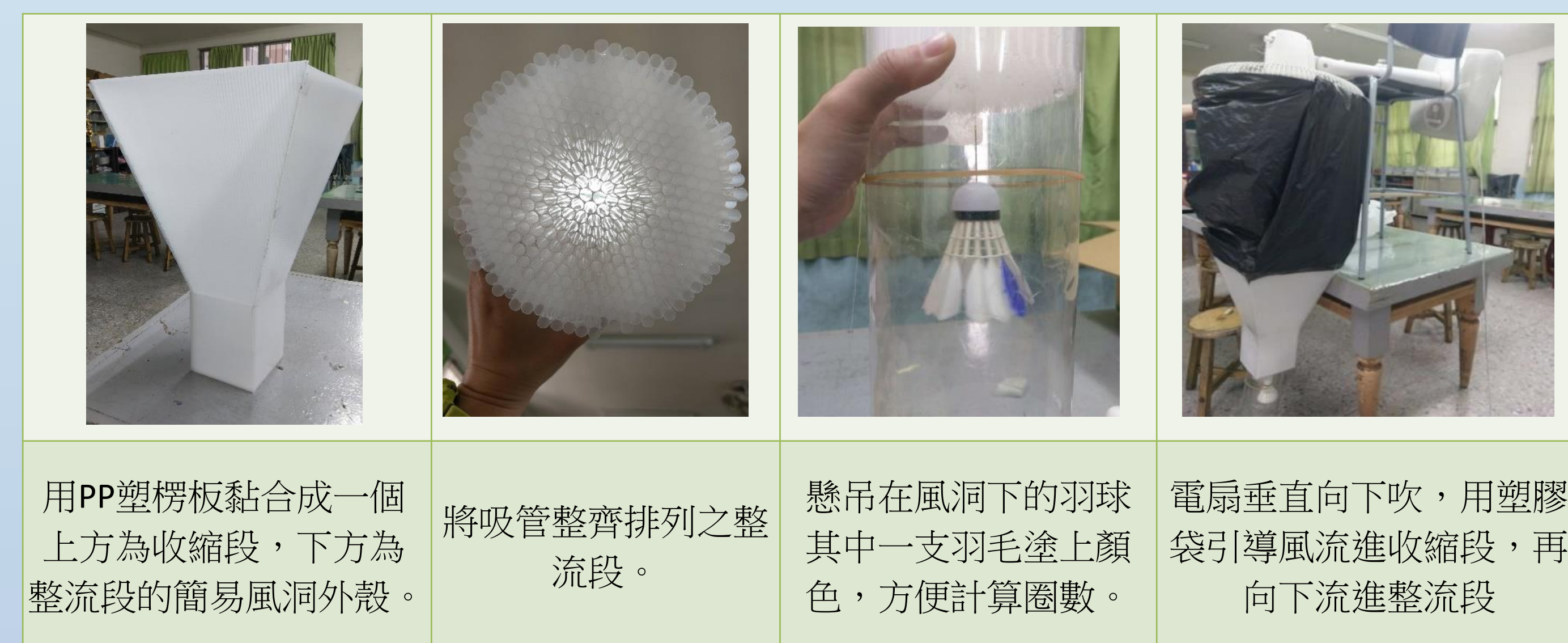
五、研究羽球在垂直風洞中的旋轉情形：

想法：

我們認為，羽球在正面受風時，會因為羽毛的排列而旋轉，受風程度越大，應該會旋轉得越快。於是我們自製一個風洞，用平穩的氣流來佐證與補足我們逆風實驗的結果，瞭解羽球在風洞中受風後的旋轉情形，與其在逆風環境中飛行的距離是否有關。

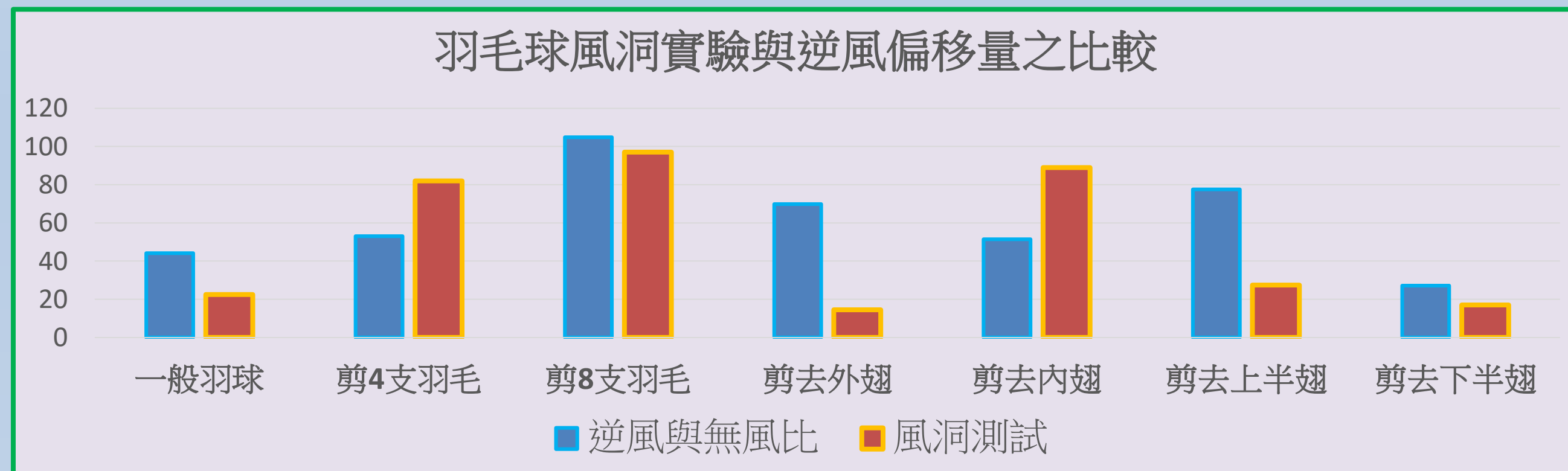
步驟：

1. 製作簡易垂直型風洞。
2. 開啟電扇，前5秒未達最大風速不計。（風速計測量到測試段的穩定風速約為4.0m/s）
3. 持續吹拂羽球10秒鐘，並以慢速攝影記錄轉圈的次數。
4. 將球頭自針上取下，更換下一顆球，重覆上述實驗。



結果：

1. 羽毛球在垂直風洞10秒鐘的旋轉圈數：



發現：

1. 在羽毛球的風洞實驗中，除了剪去外翅與內翅的兩組數據外，我們發現逆風時位移越多的球，在風洞中旋轉速度也越快，也就是越易受風影響。風洞實驗證明我們的電風扇逆風實驗是有一定可信度的。
2. 我們發現剪去外翅的羽球在風洞中轉動速度比剪去內翅的羽球慢很多，我們推論羽球正面受風時，外翅對於受風的影響程度大於內翅。
3. 塑膠球的風洞實驗轉動圈數都不多，我們之前實驗有注意到塑膠球飛行時原本就沒有旋轉得像羽球那麼快，因此我們認為塑膠球並不適合用風洞來比較結果。

陸、結論

- 一.市面上的抗風塑膠球的確有抗風效果，重量越重的其抗風效果越好，但打擊感與一般羽球差很多，反而會飛很遠。
- 二.無風時，有修剪的羽毛球飛行距離皆比未修剪的來得遠。
- 三.羽球剪8支羽毛在順風及側風環境下抗風力較佳，但逆風中容易晃動。若未來能藉由改變球的重心等其他實驗彌補，剪8支羽毛可能會是我們製作抗風球時的最佳剪法。
- 四.剪掉下半翅的羽毛球在逆風時有最佳的抗風表現，在順風及側風環境的表現也僅次於剪8支羽毛的球。
- 五.在塑膠球順風及側風的環境中，塑膠羽面剪掉的層數越多，位移程度就越小，推測塑膠羽的面積越大就越容易受風力影響。
- 六.羽球斜向排列的羽毛使得球在受風時會旋轉，實驗中我們可發現受風程度越大、風洞中的旋轉速度越快、飛行距離也越短。
- 七.綜合羽球與塑膠球的表現，可以考慮朝**重量加重、羽毛對稱但面積減少**的方向來研發適合戶外使用的羽球。