

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 物理科

第一名

030112

1/2 秒的偏移～棒球之變化球軌跡模式的建立

學校名稱：高雄市立陽明國民中學

作者：  國二 莊竣宇  國二 李佳芸  國二 陳彥儒	指導老師：  柯瑞龍  柯翠菱
---	-----------------------------

關鍵詞：棒球、變化球

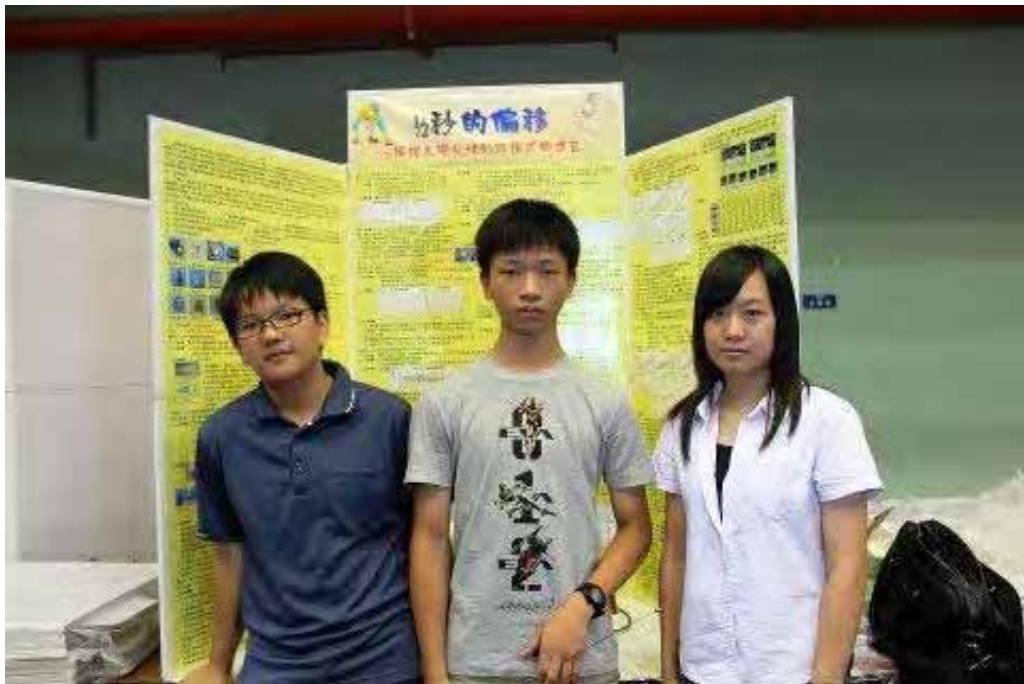
## 得獎感言

我們要謝謝指導老師和同學們，若沒有他們的幫助，我們根本沒機會站上全國的舞台，並且得到如此亮眼的成績。現在回想起每日犧牲午休只為了多測些數據，比賽前一遍又一遍念講稿、背理論，在複選的前一天忙到凌晨……這些酸甜苦辣的回憶，讓一路走來依然熱情得我們懷念不已！倘若不是這些辛苦的訓練，和一點一滴努力投入的汗水，甚至是越挫越勇的心志，我們不會有如此的佳績。我們相信一分耕耘、一分收穫，努力終究還是有價值的！

參展前，我們準備了許多。在器材部分，我們沿用過去學長姐所做的裝置加以改良，以符合我們的實驗需求。在棒球測試架部分，我們想了很久，不知如何製作才符合我們的需要，結果在某天，突然從生活中發現了它——「利樂扣」，而我們也得到了革命性的突破，這使得我們瞭解，最偉大的科學，往往流動在我們生活中，而我們需要去發現、觀察，縱如虎克給牛頓的信中所提到的：「發明的靈感，我們不知他從哪裡來，也不知往哪裡去。就是忽然來了，吹經我們多年的努力、熟悉的窗口，進入我們平常想不到的窗縫之處。」

在參展的那一個禮拜中，我們完全放棄學業，投入科學中。我們懷著對作品的熱情，在教授面前報告、被教授質詢，也瞭解到我們的缺點和往後改進的地方。複審的前一晚，我們討論著教授給我們的建議，希望能在隔天解答教授的所有疑惑，我們上網搜尋、討論科學期刊上與我們有關的論文、在網路上找尋理論基礎，這使我們發現，原來我們的研究，還有很多尚未補足之處，還有很多理論我們尚未了解，但我們依然抱著對這份研究的熱忱，在那短短的一個晚上，試著找出在我們理解範圍中的最佳解答。隔天的複審，我們得到了往後改進的方向，和一些值得繼續做下去的理論研究，雖然多少有些聽不懂，我們還是很開心，能得到未來的研究目標。

科學發展是永無止境的，一個研究成果往往會引發出更多需要研究的問題；研究報告也不可能完美無缺，一個好的理論依然需要從缺點處繼續深入的鑽研。在這次的科學展覽中，我們得到的不僅僅只是評審給我們的肯定，更重要的是，我們得到了評審的意見、評審對我們研究的看法、和我們未來需要改進的地方。誠如愛因斯坦所說：「科學絕不是也永遠不會是一本寫完了的書。每一項重大成就都會帶來新的問題！」



## 摘要

本實驗用了業務用排風扇，並加上整流段，使氣流更加平穩、集中。裝上自製調速器以控制風速，並且改良出微型風速計，以測試棒球上下的氣流流速。棒球部分，則利用家裡面常會用到的圓形保鮮盒，改裝成測試架。此測試架可同時測到水平力、垂直力及阻力，不儘大大地突破過去的測試限制，更可以任意改變旋轉的角度及轉速，以及不同的旋轉軌跡。如此，幾乎所有的變化球都可以模擬出來了！也可藉此找出新種的變化球。為了測量打者揮棒時間，我們利用了電腦軟體(威力導演)，將打者的打擊影片進行連續的分析，以求得球路判斷點，最後利用電腦做 0.01 秒為間隔的力量分段分析，使數據更加精確，更有助於棒球軌跡的完整呈現。

## 壹、研究動機

王建民一直是我們心目中的偶像，他靠著犀利的伸卡球在大聯盟連續兩年拿下 19 勝的佳績。雖然之前因為受傷復健，但最近又靠著堅忍不拔的毅力重新復出，更讓我們對他敬佩不已。而郭泓志也靠著超快的速球，在大聯盟發光發亮。因為他們，讓我們對棒球有著濃厚的興趣。而王建民自從有了新的變化球路搭配後，也讓他如虎添翼，我們更由此間接知道，原來還有很多種不同的變化球。為了能更加了解變化球的原理及軌跡變化，並更進一步研發出全新的變化球路，因此開始了這次的研究。

## 貳、研究目的

- |                                |               |
|--------------------------------|---------------|
| 一、建立強而穩定的氣流                    | 二、架設測量棒球的測試架  |
| 三、探討棒球運動對垂直力、水平力及阻力的影響         |               |
| 四、探討旋轉的棒球對垂直力、水平力及阻力的影響        |               |
| 五、探討不同球速下及轉速下的棒球對垂直力、水平力及阻力的影響 |               |
| 六、探討不同旋轉方式對偏向力及阻力的影響           | 七、開發新種變化球     |
| 八、探討棒球的旋轉與球速和好球帶及打擊的關係         | 九、建立完整的棒球軌跡模式 |
| 十、利用軌跡模式分析棒球                   |               |

## 參、研究設備及器材

				
高速排風扇	自製風速計	自製測試架	轉速控制器	風速控制器
				
轉速計	風速計	力度計	數據機	筆記型電腦

## 肆、研究原理及相關名詞

### 一、升力原理：

(一)伯努利定律：其關係式為  $P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$  (如圖)

$P_1$ ：上方壓力； $P_2$ ：下方壓力；

$h_1$ ：下方高度； $h_2$ ：上方高度( $h_2-h_1$ )即為兩者的高度差

$\rho$ ：流體密度； $v_1$ ：上方流體的流速； $v_2$ ：下方流體的流速

上述式子可推導為  $P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \rho (v_2 + v_1)(v_2 - v_1) \approx \rho \times V_0 \times \Delta v$

其中  $\Delta v = v_2 - v_1$ ； $\frac{v_2 + v_1}{2} \approx V_0$  (流速)，再由  $P = \frac{F}{A}$  (A：受力面積)

故升力  $F_L = A \times \rho \times V_0 \times \Delta v \propto V_0 \times \Delta v$  (只限於球的上下兩端)

(二)庫達-賈可斯基定律(Kutta-Joukowski law)：  $L = \rho V_0 \Gamma$

物體於流體中運動所受的升力  $L$  (即垂直於運動方向的側力，如右圖) 等於物體之速度  $V_0$ 、流體密度  $\rho$  與環流量  $\Gamma$  ( $\Gamma$  為繞物體公轉之流體的繞行強度) 的乘積。

其中  $\Gamma = 2\pi r^2 \omega = 2\pi r \times v$  ( $v$ ：棒球旋轉的切線速度)

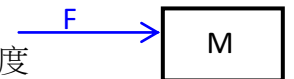
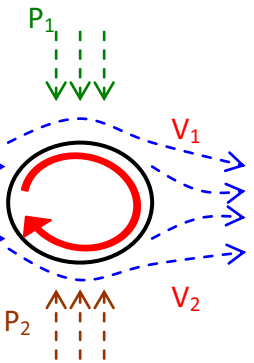
故  $L = \rho V_0 \Gamma = \rho V_0 \times 2\pi r \times r \omega = 2\pi r \times \rho V_0 v$   $L \propto V_0 \times v$

(三)馬格努斯效應 (Magnus Effect)：  $F_M = S(\vec{\omega} \times \vec{v}) = S\omega v \sin \theta$

當一個旋轉物體的旋轉角速度向量與物體飛行速度向量不重合時，在與旋轉角速度向量和平動速度向量組成的平面相垂直的方向上將產生一個橫向力。在這個橫向力的作用下物體飛行軌跡發生偏轉的現象稱作馬格努斯效應。(S：空氣阻力平均係數； $\vec{\omega}$ ：角速度向量； $\vec{v}$ ：球的速度向量)

二、運動定律：物體受到力的作用時，會沿著合力的方向，產生一個

加速度其關係式為： $F = M \times a$  (如圖) F：施力；M：質量；a：加速度



## 伍、研究過程、結果及討論

### 研究一、如何得到強力且穩定的風速

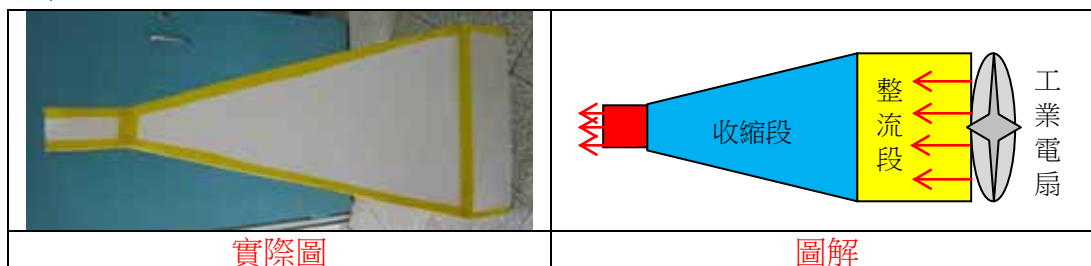
#### 探討 1、如何得到強力的風速

(一)目的：製作可以模擬棒球高速運動的風速

(二)步驟：1.利用瓦楞板黏貼成整流段及收縮段(如下圖)。

2.將整流段塞入吸管，以達到整流的效果。

(三)結果：改良的裝置如下



(四)討論：1.理論上，利用收縮段之後，將氣流集中起來，應該可以得到比原先更大的風速，



但測試的結果，卻不如預期。

2. 氣流非但沒有變快，反而還變慢，顯示這樣的收縮段無法達到理想中的風速，因此我們改變了這樣的做法，而去找了一種可以產生強力風速的排風扇，以解決風速的問題。

## 探討 2、如何穩定抽風扇的氣流

(一)目的：製作可以模擬棒球高速運動的穩定風速

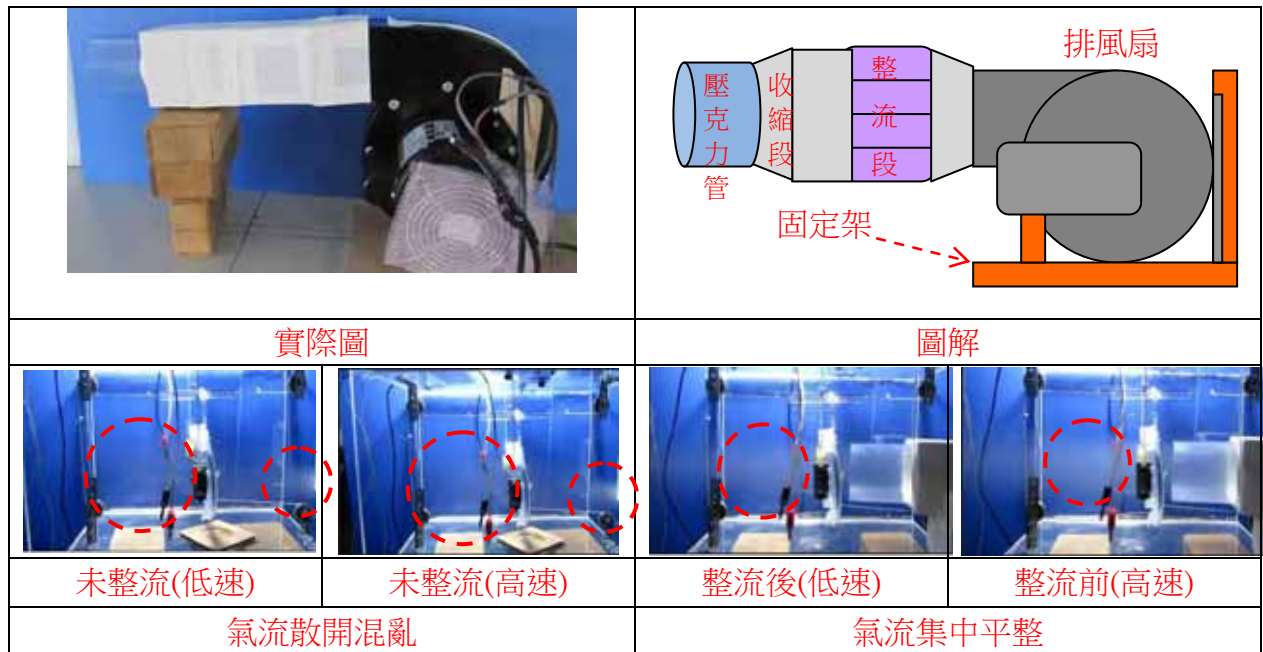
(二)步驟：1. 將排風扇用木頭固定起來。

2. 利用塑膠瓦楞板做成整流段及收縮段，整流段內部則用吸管和網子進行整流。

3. 將風扇、整流段、收縮段和壓克力管組裝起來即完成整流的作業。

4. 利用二氧化錳加雙氧水製造大量的白煙，以觀察氣流流動的情形。

(三)結果：改良的裝置如下



(四)討論：1. 從白煙的情況可發現，未加整流段前，氣流不太穩定，容易散開來，會影響到整體裝置的測量，而風速也只能達到 37.5m/s。

2. 未整流前，最大風速只集中在出風口的中心附近，不同的區域會有風速的落差；整流之後，出風口的風速已經大大提高了一致性，而沒有之前的區域落差。

3. 加入整流段後，氣流明顯穩定許多，也更加集中，而最大風速更達到 38.9m/s(約 140km/hr)，同時因為氣流不會散開來，也大大地增加測量的準確性。

## 探討 3、如何改良出更小的風速計

(一)目的：製作一個微型風速計

(二)步驟：1. 將小型螺旋槳貼上反光貼紙(以測試光的反射並轉換成轉速)，並固定於支架，。

2. 利用調速器調整風速為 38.0、36.0、...、4.0、2.0m/s，分別吹向小型螺旋槳，再利用簡易轉速器測量其轉速，記錄下來，並製成標準檢量線。

(三)結果：

風速(m/s)	38.0	36.0	34.0	32.0	30.0	28.0	26.0	24.0	22.0
轉速(rpm)	17641	16700	15111	14516	13867	12855	11732	9622	8673

風速(m/s)	20.0	18.0	16.0	14.0	12.0	10.0	8.0	6.0	0.0
轉速(rpm)	7713	7435	6829	6524	6013	4722	3319	2457	0

(四)討論：1.利用調速器配合風速計，就可以輕易地調整到想要的風速，並利用轉速器，測量反光貼紙反射的頻率，以測得轉速。

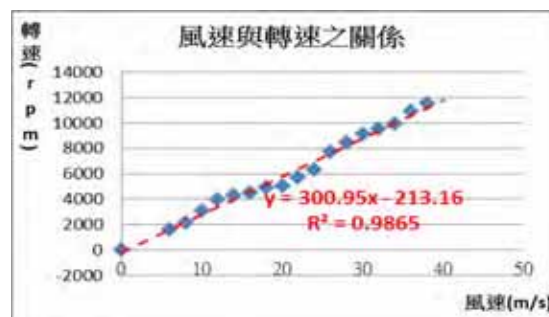
2.市面現有的風速計雖然可以測量風速，但體積太大，若用來測量棒球周圍的流速，會對氣流造成太大的影響，而失去原本的狀態，故要改良成微型風速計。

3.改良出的微型風速計，配合標準檢量線，就可以求得風速  $V(\text{m/s})$  與轉速  $R(\text{rpm})$  的關係式

$$\text{為 } V = \frac{1}{301.7}(R + 235.3)，\text{ 接著只要代入轉速}$$

就可以輕易地求得棒球周圍氣流的流速。

4.自製的微型風速計不僅體積小、質量輕，而且只要有風就可以測出來，可說是風速計的一大突破。



市面體積大

微型體積小

## 研究二、如何架設測量裝置

### 探討 1、架設棒球的裝置

(一)目的：架設測量裝置以測試電流

(二)步驟：1.利用電鑽將棒球鑽一個直徑 2mm 的小孔。

2.將小馬達的軸心插入小孔中，並用瞬間膠固定即可完成。

(三)結果：整體裝置如下圖

實際圖	圖解	整體裝置(原構想)	側視圖

(四)討論：1. 馬達和小孔接合處在水平角度的時候易造成彎曲的現象，會影響測量。

2. 原構想裝置(如上圖)，可利用棒球旋轉後測試，觀察電子秤的數值得到向上或向下的偏向力，但卻因為接合不穩固，所以難以實施。

3. 此裝置只能測試在垂直方向力的變化，對於水平方向的力是束手無策，即使可改變風向，由上往下吹求得阻力，也無法同時測得阻力和垂直偏向力。

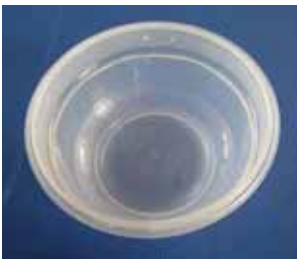
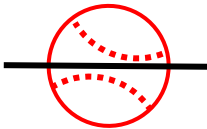


4. 此種測量方式只能固定一種旋轉角度，若改變旋轉角度，整套裝置都要重新平衡，在測試上面有諸多限制，因此還有很大的改良空間。

### 探討 2、棒球固定架的改良

(一)目的：改良棒球的固定架

(二)步驟：如下圖。

(三)結果：如下圖。

			
準備一個利樂扣保鮮盒，將保鮮盒下半部鋸開，使其成環狀。	請工廠用機器將棒球鑽一個直徑 4mm 的洞，貫穿球心。	用一根小鋼條穿過棒球，並與小馬達的軸心接在一起。	利用小軸承將此裝置固定在保鮮盒環上。

- (四)討論：1.利用上述的方法，可以得到比原先更穩定的旋轉，並減少了震動。當形成穩定的轉動，便可以提升測試的準確度。
- 2.使用利樂扣保鮮盒的裝置，可以輕易地改變棒球在測試架中的旋轉方向，並藉由自製轉速控制器，可以任意的改變棒球的轉速。
- 3.經由以上的設計，將可以測出任意角度、速率旋轉的棒球，可說是大大的突破過去的只能測量單一角度的限制。

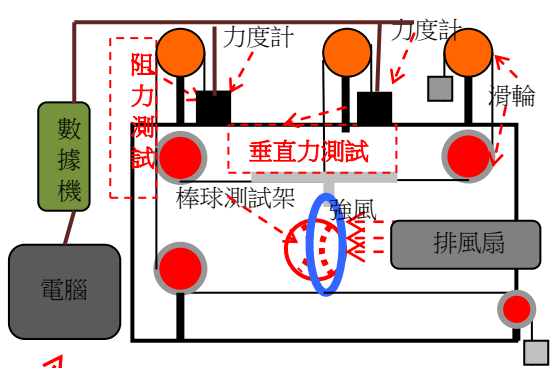

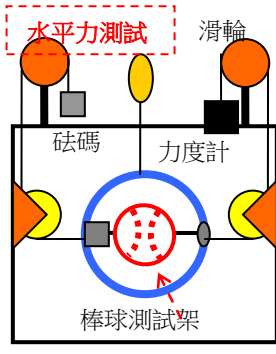

### 探討 3、如何架設測試段

(一)目的：架設一套可以測試棒球的裝置

(二)步驟：1.使用 10mm 的透明壓克力，事先鑽好設計的洞

2.將壓克力板黏成長方體的形狀，並將滑輪裝置及測試裝置架上去(如圖)。

(三)結果：改良的裝置如下

			
圖解(阻力、垂直力)	實際圖	圖解(水平力)	實際圖



- (四)討論：1.利用力度計測試水平力、垂直力及阻力的變化，將其用電腦分析並求出平均，可以得到精確的力量變化，並減少測量的誤差。而透過電腦分析的圖形，也可以了解球在飛行時受力變化的情形，並藉此探討其穩定性。
- 2.原本的阻力裝置只拉了上面兩條繩子，但測試後發現棒球裝置會因為力矩的不平衡，產生嚴重的偏斜，故又加了下面兩條繩子，果然改善了許多。

### 探討 4、測試段對阻力、水平力及垂直力的影響

(一)目的：測試測試段對阻力、水平力及垂直力的影響

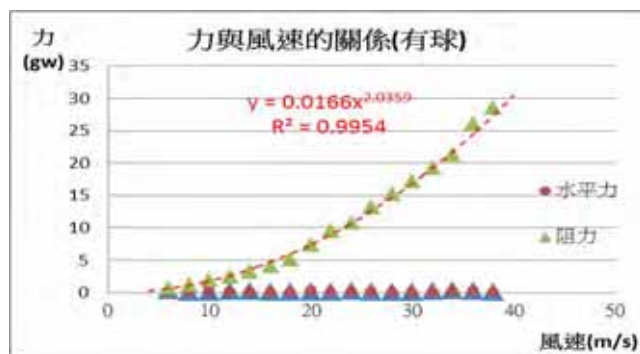
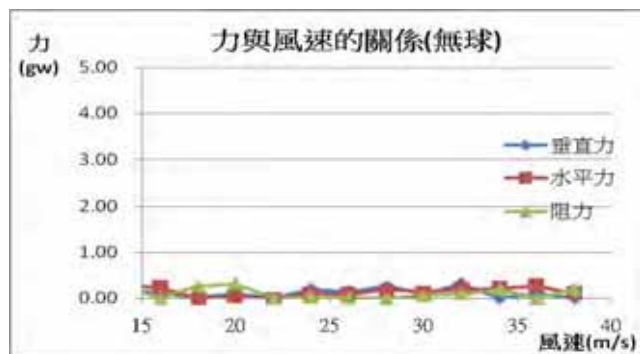
(二)步驟：1.將測試架(只有測試架沒有球)架在測試段。

2.調整風速為 38.0、36.0、...、8.0、6.0m/s，進行無球及有球的兩種測試(右圖)。

	
無球	有球(獨立支架)



### (三)結果：圖形分析



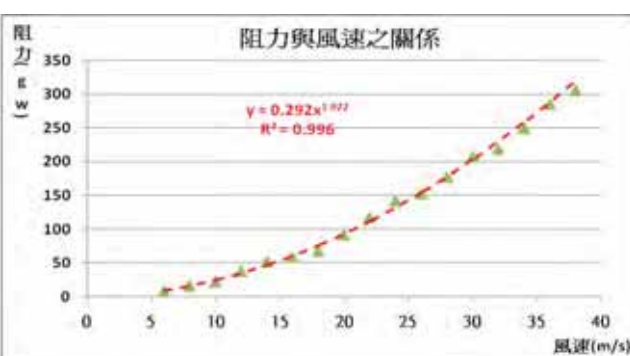
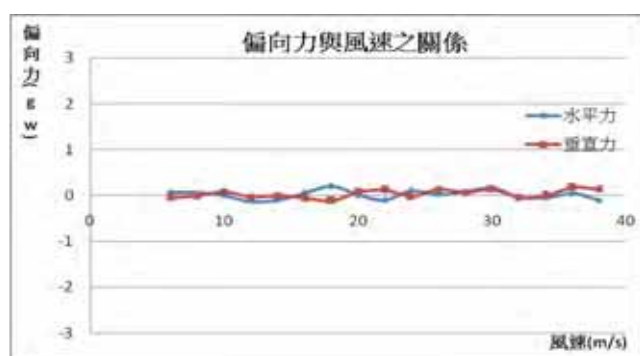
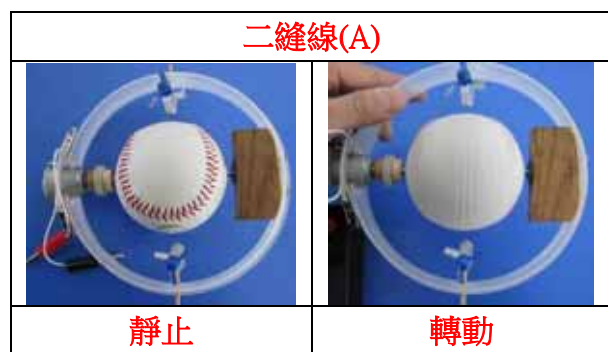
- (四)討論：
- 1.力的分析在無球的條件下，幾乎沒有力的影響，顯示氣流集中，故只對測試架產生些微的影響。
  - 2.在有球(球為獨立支架)的條件下，水平及垂直力也沒有影響，阻力卻有了很大的變化，顯示球的存在會影響氣流的流動路徑，進而使測試架對阻力產生了影響。
  - 3.由以上可知，在測試的過程，必須將有球的測試結果中，阻力部分扣掉，以降低測試架的阻力影響。

### 研究三、棒球的運動對阻力、水平力及垂直力的影響

#### 探討 1、球速對阻力、水平力及垂直力的影響

- (一)目的：測試棒球球速對棒球球速對阻力、水平力及垂直力的影響
- (二)步驟：
- 1.將棒球二縫線(A)架到測試段。
  - 2.調整風速為 38.0、36.0、...、8.0、6.0m/s，並將水平力、垂直力及阻力的關係記錄下來。

#### (三)結果：



- (四)討論：
- 1.水平與垂直的偏向力及阻力的測量，為利用數據機擷取資料，再用電腦求平均的數據，結果顯示在不同的風速下，偏向力都在 0gw 上下振盪，並無太大改變。
  - 2.收集數據的過程中我們觀察到，偏向力的數據並不是保持穩定，而是不斷地上下振動，表示偏向力並不是一個穩定的值。

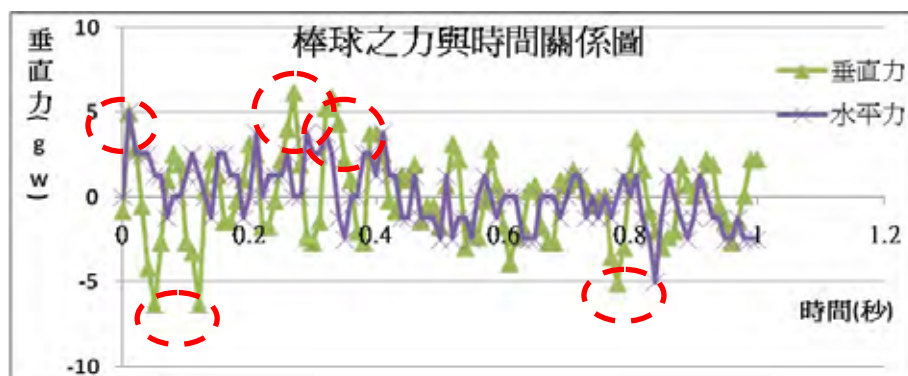
#### 探討 2、不同時間下棒球邊界的氣流關係

- (一)目的：測試不同時間點，不旋轉的棒球對阻力、水平力和垂直力的影響

(二)步驟：1.將棒球 A 裝置架到測試段。

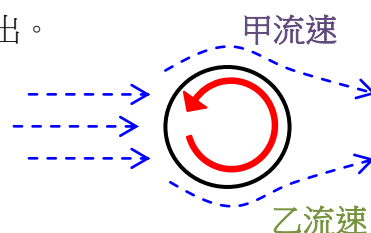
2.利用測量裝置，記錄阻力、水平力及垂直力和時間之間的關係。

(三)結果：分析圖



(四)討論：1.從分析圖可知，不旋轉棒球的偏向力並非固定不變，而是會隨時間不規則的上下振盪，容易造成球路的飄忽不定，蝴蝶球即是利用此原理投出。

#### 研究四、旋轉的棒球對阻力、水平力、垂直力及流速的影響



##### 探討 1、固定球速、不同轉速下，旋轉的棒球對流速的影響

(一)目的：測試旋轉的棒球其轉速和旋轉面氣流的關係

(二)步驟：1.將棒球 A 裝置裝上微型風速計再架到測試段，並貼上反光貼紙，以測轉速。

2.將球速固定為 38m/s，改變轉速為 0rpm、300rpm、...、2100rpm、2400rpm，並用自製微型風速計測試旋轉面甲、乙(如右圖)之風速計轉速，再轉換成流速關係。

(三)結果：

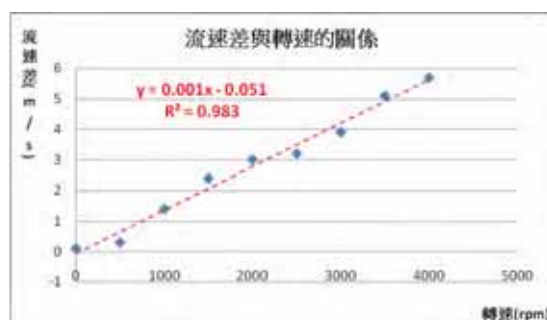
轉速單位：rpm 流速單位：m/s

轉速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
甲轉速	5830	6313	6554	6766	7158	7399	7701	7942	8154
甲流速	20.1	21.7	22.5	23.2	24.5	25.3	26.3	27.1	27.8
乙轉速	5860	6403	6977	7490	8063	8365	8878	9481	9874
乙流速	20.2	22.0	23.9	25.6	27.5	28.5	30.2	32.2	33.5
流速差	0.1	0.3	1.4	2.4	3.0	3.2	3.9	5.1	5.7

(四)討論：1.由結果可知，甲面的氣流的速率較乙面為快，且隨著轉速逐漸增強，差距也越來越大。

2.將轉速和流速差作圖分析，發現兩者成線性關係，顯示兩面的流速大小和轉速的大小有關，乙面和旋轉方向相同，故流速較快，甲面和旋轉方向相反，故流速較慢，兩者因而產生了流速差。

3.根據伯努利定律，甲、乙兩面的流速不同，故而造成壓力差，作用在球面上則產生了偏向力，但其偏向力是不是會隨著旋轉角度的改變而變化呢？為了解答這樣的問題，我們開始了以下的研究。

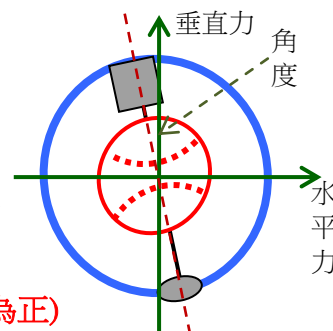


##### 探討 2、固定球速、轉速下，旋轉角度與阻力、水平力及垂直力的關係

(一)目的：測試旋轉角度與阻力、水平力及垂直力的關係

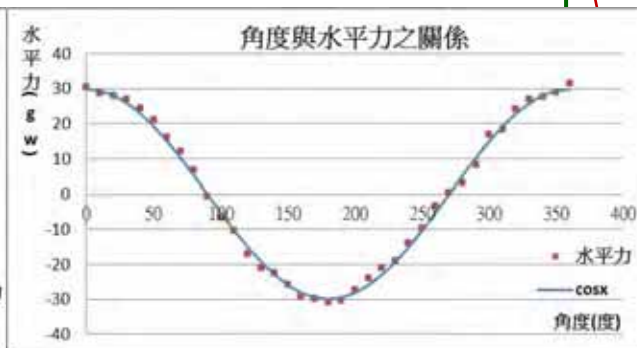
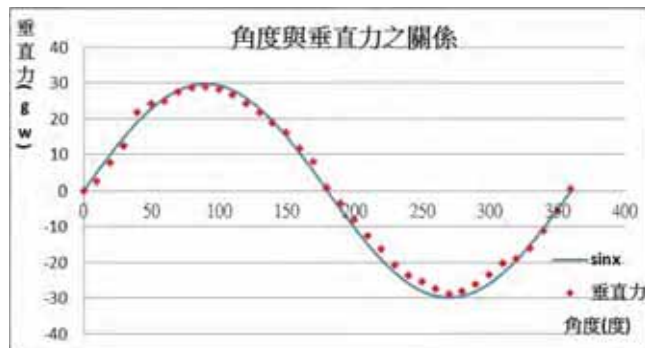
(二)步驟：1.將棒球 A 裝置架到測試段。

2.將球速固定為 38m/s，轉速固定為 2400 rpm，分別改變角度為  $0^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $\dots$ 、 $350^\circ$ 、 $360^\circ$ (如右圖)，並將水平力、垂直力及阻力的關係記錄下來。

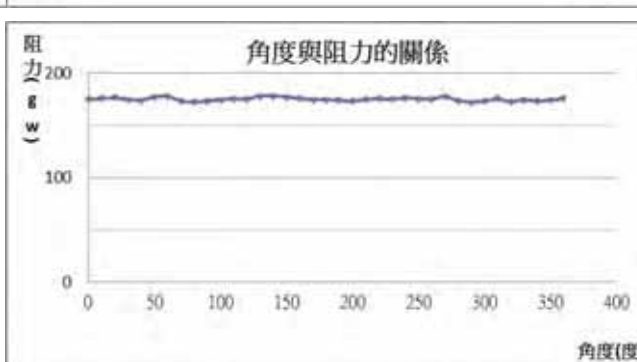


(三)結果： 水平力(向右為正)

垂直力(向上為正)



(四)討論：1.由上面的圖形可知，垂直力與水平力會因為旋轉角度不同，而有大小及方向的變化，阻力方面則維持水平，並無太大的變化。  
2.將  $\sin x$  與  $\cos x$  的圖形分別與垂直力和水平力作比較(如上圖)，結果發現其數值與曲線的重合度很高，顯示水平力與垂直力的變化與其三角函數關係相似。



3.為了確定其關係是否真為  $\sin x$  與  $\cos x$  之關係，因此就不同的轉速與風速進行比較。

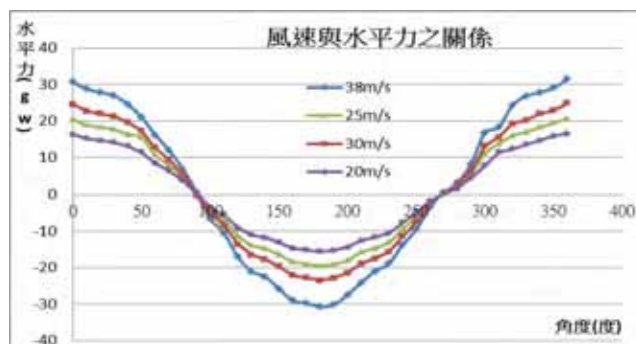
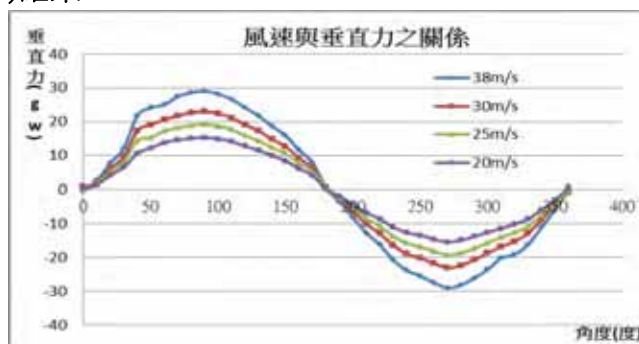
### 探討 3、固定轉速，不同球速下，角度與阻力、水平力及垂直力的關係

(一)目的：測試球速與角度與阻力、水平力及垂直力的關係

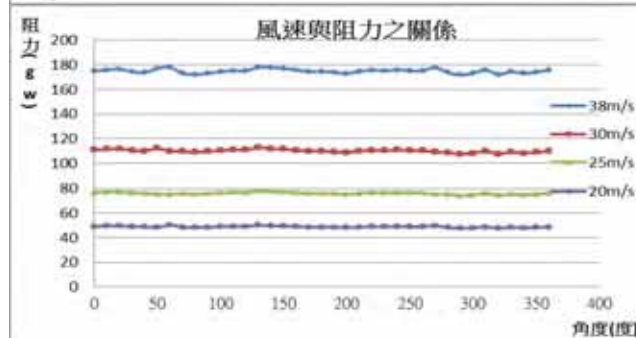
(二)步驟：1. 將棒球 A 裝置架到測試段。

2.將轉速固定為 2400 rpm，分別改變風速為 38m/s、30m/s、25m/s 及 20m/s，與角度  $0^\circ \sim 360^\circ$ ，並將其結果記錄下來。

(三)結果：



(四)討論：1.由上面的圖形可知，隨著風速的改變，垂直力與水平力仍有  $\cos x$  及  $\sin x$  的圖形關係，但其最大值會隨著風速的減小而逐漸減小，而轉速的關係將留在





後面討論。

2. 阻力部分也是隨著風速減小而逐漸變小，但在固定的風速下，其圖形保持水平，並無明顯的變化。

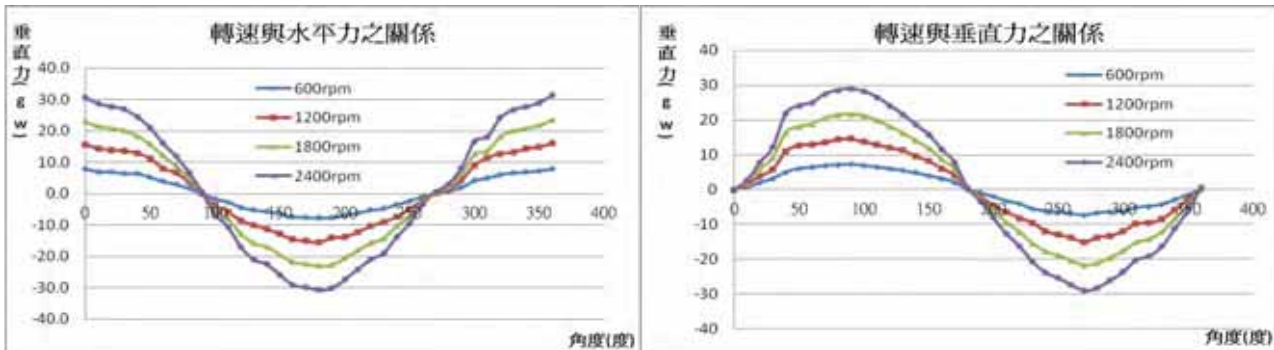
#### 探討 4、固定風速，不同轉速下，角度與阻力、水平力及垂直力的關係

(一)目的：測試轉速與角度與阻力、水平力及垂直力的關係

(二)步驟：1. 將棒球 A 裝置架到測試段。

2. 將風速固定為 38m/s，分別改變轉速為 600rpm、1200rpm、1800rpm 及 2400rpm，與角度  $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ ，並將其結果記錄下來。

(三)結果：



(四)討論：1. 由上面的圖形可知，隨著轉速的改變，垂直力與水平力仍有  $\cos x$  及  $\sin x$  的圖形關係，但其最大值會隨著轉速的減小而逐漸減小。但其和風速及轉速和偏向力之間到底有何交互關係？必須要再設計實驗找出來。

2. 阻力部分是隨著轉速減小而逐漸變大，但在固定的轉速下，其圖形保持水平，並無明顯的變化。

#### 研究五、不同球速下，旋轉的棒球對阻力、水平力及垂直力的影響

##### 探討 1、轉速、球速與偏向力、阻力的關係

(一)目的：測試轉速與球速和偏向力、阻力的關係

(二)步驟：1. 將棒球 A 裝置架到測試段。

2. 調整風速為 0m/s、6m/s、...、36m/s、38m/s 與轉速 0rpm、300rpm、...、2100rpm、2400rpm 做交叉比對，找出其偏向力與阻力的數值，並記錄下來。

(三)結果：偏向力與轉速、風速之關係 單位(偏向力：gw；轉速：rpm；風速：m/s)

轉速 風速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
0	0.0	0.1	0.0	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.1	0.0
6	0.0	0.3	1.1	1.7	2.5	3.3	3.7	4.0	4.3
8	0.1	0.7	1.5	1.8	3.1	3.7	4.4	4.5	5.5

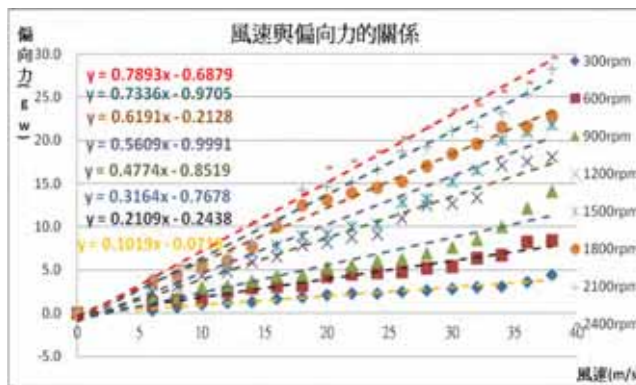




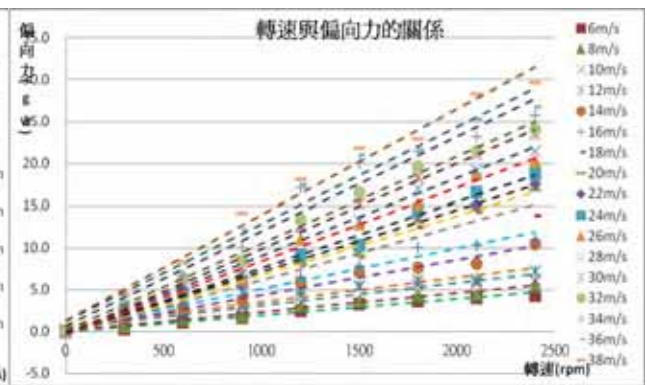
10	0.2	1.0	1.7	3.0	4.3	5.4	5.6	5.8	6.1
12	0.2	1.2	2.5	3.2	4.8	5.5	6.1	6.2	7.2
14	-0.1	1.3	2.9	3.7	5.9	7.1	7.7	8.1	10.5
16	-0.1	1.7	3.1	4.3	6.5	7.8	10.0	10.3	10.9
18	0.1	1.8	3.2	4.4	7.9	8.9	12.5	14.3	13.8
20	0.0	2.1	4.2	5.3	8.1	9.1	13.1	14.6	16.8
22	0.0	2.3	4.5	5.5	8.8	10.0	13.9	15.1	17.6
24	0.0	2.3	4.7	6.0	9.1	10.3	14.5	16.6	18.7
26	0.1	2.5	4.8	6.3	11.0	12.8	15.2	18.7	20.3
28	-0.1	2.6	5.2	6.9	12.5	13.2	17.0	19.2	21.5
30	0.1	2.8	5.4	7.6	12.7	15.2	18.4	21.1	23.5
32	0.1	3.0	6.4	8.5	13.4	16.6	19.6	21.5	24.1
34	0.1	3.1	6.7	10.0	17.1	20.0	21.5	23.2	25.7
36	0.0	3.6	8.2	12.1	17.5	21.0	21.6	25.3	26.7
38	0.1	4.4	8.4	14.1	18.1	21.8	22.9	28.3	29.6

阻力與轉速、風速之關係 單位(偏向力：gw；轉速：rpm；風速：m/s)

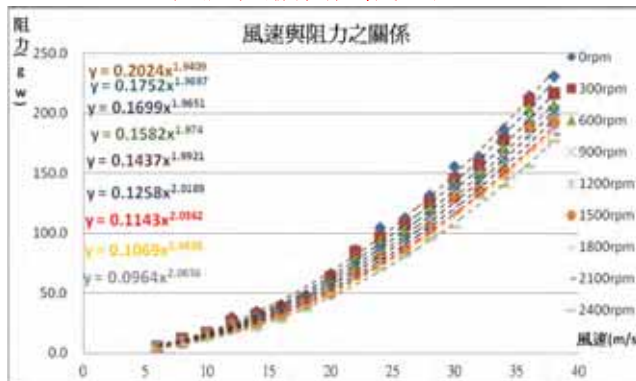
轉速 風速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	-0.1
6	5.9	5.2	5.1	5.0	4.9	4.5	4.4	4.2	3.9
8	12.5	11.9	11.5	10.9	9.3	8.5	7.9	7.7	7.2
10	17.6	16.9	16.6	16.0	15.6	14.8	13.5	13.0	11.9
12	29.5	26.3	24.6	21.9	21.6	20.9	19.5	18.8	17.4
14	34.8	31.8	29.7	28.1	26.3	24.1	22.0	20.4	19.5
16	40.3	37.4	34.9	33.2	32.3	30.0	29.1	27.9	26.7
18	47.2	45.6	44.7	44.0	43.3	41.7	40.3	39.7	36.0
20	65.8	63.4	59.5	55.6	52.3	50.1	48.9	49.2	49.2
22	85.8	84.2	78.7	74.9	71.7	66.7	65.4	64.6	61.6
24	104.3	96.6	91.9	88.2	85.5	79.5	76.5	74.5	70.2
26	112.6	107.3	101.9	96.7	91.3	86.0	84.2	83.2	81.0
28	131.6	125.0	119.9	114.9	108.0	104.4	101.8	100.3	95.1
30	155.2	145.0	142.0	139.1	134.1	129.3	116.6	116.8	105.2
32	163.5	157.2	150.4	145.7	141.9	135.0	132.3	130.8	129.8
34	186.8	177.8	171.2	163.4	158.2	152.2	148.1	145.4	139.4
36	214.3	210.7	203.5	195.8	190.7	188.1	180.9	170.2	155.0
38	230.4	216.6	206.5	202.1	198.6	192.7	187.3	182.1	176.6



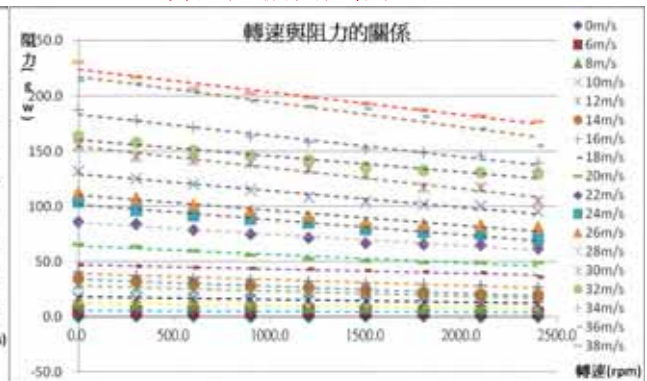
風速與偏向力成正比



轉速與偏向力成正比



風速的平方與阻力成正比



轉速與阻力成線性關係

- (四)討論：
- 1.將力量與風速及力量與轉速用 Excel 做線性迴歸分析，可以發現，偏向力和風速及轉速分別呈現線性且接近正比的關係，而阻力大約和風速的平方成正比，和轉速則是呈另一種線性的關係。
  - 2.不同的轉速或風速下，偏向力及阻力都會受到影響，顯示兩者對於偏向力或阻力之間交互作用的關係，其關係式必須將兩者都考慮進去才算完整。
  - 3.雖然交叉比對後，可以得到多個關係式，但卻不是單一的方程式，不同的轉速或風速條件下，必須要用不同的方程式，對於軌跡模式的建立，會造成極大的限制，因此必須想辦法將所有的關係式整合成一個。
  - 4.二縫線旋轉方式在風速 38m/s、轉速 2400rpm 時的最大偏向力為 29.6gw，阻力為 176.6gw，這兩種力量都會對球的運動軌跡造成影響，只要改變球速或轉速，偏向力和阻力都會改變，但在固定的轉速或球速下，旋轉方式的不同會不會造成偏向力或阻力的影響呢？這樣的問題也值得我們去深入研究。

## 探討 2、如何求出偏向力的關係式

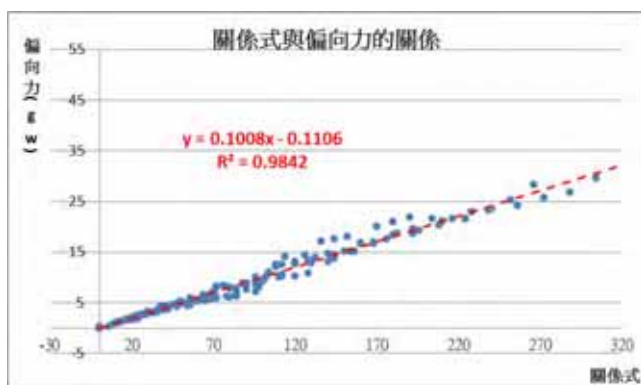
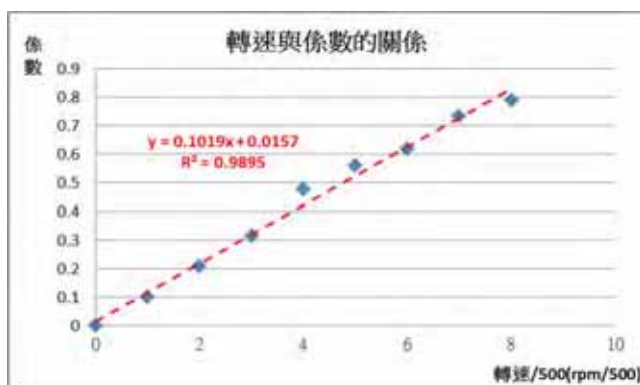
(一)目的：找尋偏向力的趨勢方程式

(二)步驟：1.將風速與偏向力關係圖中，X 項的係數與其對應的轉速輸入 Excel 找出兩者的線性迴歸方程。

2.將風速(V)與轉速(R)的乘積 VR 和對應的力輸入 Excel 找出兩者的線性迴歸方程。

(三)結果：

轉速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
轉速/300	0	1	2	3	4	5	6	7	8
係數	0	0.1019	0.2109	0.3164	0.4774	0.5609	0.6191	0.7339	0.7893



- (四)討論：1.風速(V)與轉速(R)兩者皆分別與偏向力(F)呈線性關係，且從數據中發現，其中一個為零時，偏向力就會等於零，故取  $V \times (R/300)$  和 F 做線性迴歸。
- 2.從轉速與係數的關係圖中發現，轉速與係數也呈現類似正比的關係，故分別以關係式(風速×轉速)與偏向力的關係做線性迴歸。
- 3.由關係式與偏向力的關係圖中得到線性迴歸方程  $y = 0.1008x - 0.1106$  可知，關係式與偏向力呈現線性關係，故可得到風速(V)、轉速(R)與偏向力(L)的關係式為：

$$L = \frac{0.1008}{300} V \times R - 0.1106$$

。此結果可說是一大突破，也為軌跡模擬提供了一大利器。

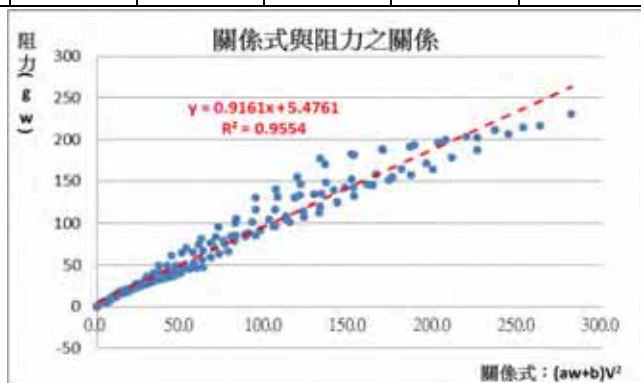
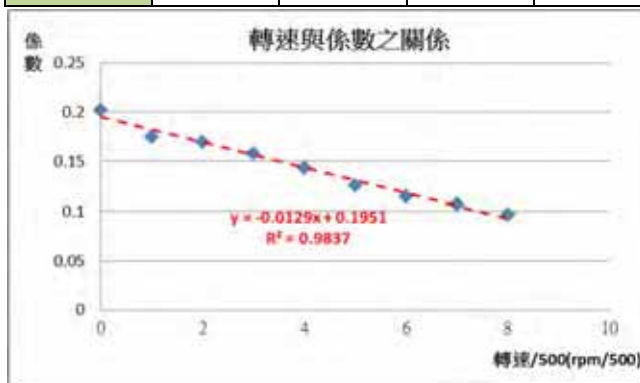
### 探討 3、如何求出阻力的關係式

(一)目的：找尋阻力的趨勢方程式

- (二)步驟：1.將風速與阻力方程式的係數項與其對應的轉速輸入 Excel 找出兩者的線性迴歸方程。
- 2.將步驟 1 的迴歸方程  $(aR/300+b)$  和  $V^2$  的乘積  $(aR/300+b)V^2$  與偏向力(F)做線性迴歸。

(三)結果：

轉速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
轉速/300	0	1	2	3	4	5	6	7	8
係數	0.2024	0.1752	0.1699	0.1582	0.1437	0.1258	0.1143	0.1069	0.0964



- (四)討論：1.從轉速與係數的迴歸關係，可得到關係式  $y = -0.0129x + 0.1951$  轉換後可得到關係

方程式： $C = \frac{-0.0129}{300} R + 0.1951$  (C 為風速與阻力方程的係數項；R 為轉速)。

- 2.將  $(\frac{-0.0129}{300} R + 0.1951) \times V^2$  和阻力(F)做線性迴歸，得到關係  $y = 0.9161x + 5.4761$ ，

轉換後得到阻力與風速及轉速關係為  $F = 0.9161(\frac{-0.0129}{300} R + 0.1951) \times V^2 + 5.4761$

3.在棒球運動中，阻力也是影響軌跡的重要因素，因此求出阻力方程式可以讓軌跡的分析更加完整。

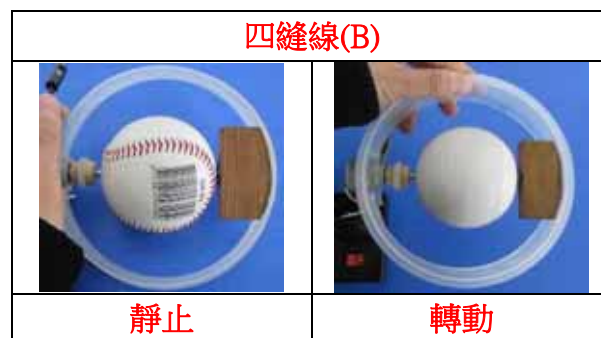
## 研究六、不同旋轉方式對偏向力及阻力的影響

### 探討 1、傳統變化球(四縫線)的偏向力及阻力的關係

(一)目的：測試四縫線(B)旋轉之轉速與球速和偏向力、阻力的關係

(二)步驟：1.將測試裝置四縫線(B)放到測試架。

2.調整風速為 0m/s、6m/s...、36m/s、38m/s  
與轉速 0rpm、300rpm、...、2100rpm、  
2400rpm 交叉比對，找出其偏向力與阻力的  
數值，並記錄下來。



(三)結果：偏向力與轉速、風速之關係 單位(偏向力：gw；轉速：rpm；風速：m/s)

轉速 風速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
0	0.0	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	-0.2
6	0.1	0.9	2.4	3.9	4.7	5.5	6.0	6.2	6.7
8	-0.1	1.5	2.6	4.7	5.2	6.0	7.7	8.1	8.5
10	-0.2	1.6	3.1	5.3	5.4	6.7	8.5	9.0	9.9
12	-0.2	1.7	3.4	5.1	6.4	8.2	8.5	12.8	13.9
14	-0.2	2.3	4.1	5.4	8.8	9.5	11.4	15.0	16.6
16	0.0	2.6	4.4	6.7	9.2	10.7	13.4	16.7	18.8
18	0.2	2.9	4.7	7.2	9.8	11.3	15.0	18.6	19.6
20	-0.1	3.2	5.6	7.7	10.5	13.5	15.8	19.0	20.6
22	0.0	3.8	7.5	10.1	12.8	16.5	21.0	24.5	29.5
24	0.1	4.2	7.7	11.1	13.9	17.7	23.4	26.3	31.0
26	-0.2	4.4	7.9	11.4	14.3	18.1	23.6	27.3	32.4
28	0.1	4.6	8.3	15.0	17.4	21.1	27.2	31.9	34.0
30	0.0	5.0	8.7	15.5	18.5	22.7	29.4	34.0	36.9
32	-0.1	5.1	9.1	15.8	18.9	25.7	30.2	36.8	38.5
34	0.0	5.3	11.2	16.9	20.3	27.8	31.5	38.9	39.5
36	0.0	5.4	12.8	17.9	21.0	31.0	34.4	39.8	40.2
38	-0.1	5.6	14.5	19.0	24.4	33.8	36.7	39.2	43.7

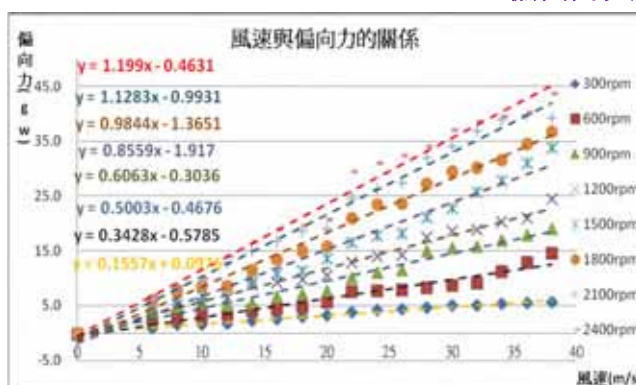
阻力與轉速、風速之關係 單位(偏向力：gw；轉速：rpm；風速：m/s)

轉速 風速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
0	0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
6	6.3	5.9	5.6	5.4	5.1	4.7	4.1	3.8	3.4

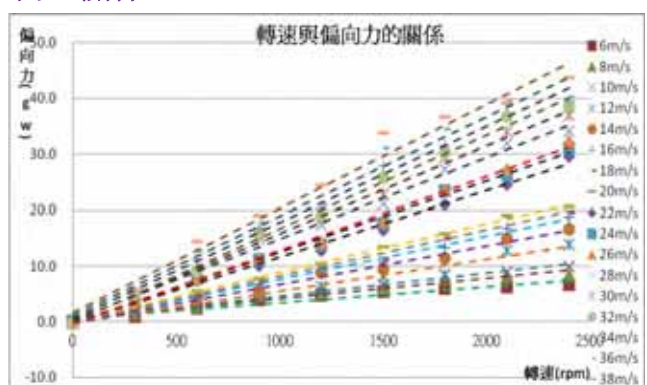


8	8.7	7.7	7.1	6.2	5.8	5.4	4.6	4.1	4.0
10	14.7	12.7	11.6	10.2	9.1	8.6	7.5	6.8	6.6
12	24.5	23.3	22.0	20.6	19.8	18.8	16.3	15.6	13.4
14	31.9	28.7	26.5	24.3	22.5	21.3	18.9	17.6	17.1
16	45.8	41.7	38.5	33.6	30.5	29.4	24.1	21.8	21.0
18	59.2	56.0	49.6	47.2	45.5	43.7	37.2	33.3	29.2
20	72.5	67.2	60.2	52.9	49.2	46.3	39.8	36.3	33.7
22	89.3	79.6	74.3	65.8	60.5	57.6	48.8	43.4	39.9
24	104.7	94.1	89.2	83.8	78.5	75.7	67.1	58.5	49.5
26	122.5	114.1	104.6	97.2	92.7	86.4	71.0	64.5	59.0
28	131.1	123.4	115.8	107.9	103.6	96.7	80.8	73.3	68.8
30	159.1	150.5	137.0	132.7	125.9	116.3	102.7	92.5	82.1
32	173.3	161.5	152.5	142.7	136.0	127.8	110.6	100.6	94.6
34	196.5	184.7	175.7	166.1	160.0	146.5	129.9	106.3	103.8
36	216.9	209.8	197.9	184.3	175.0	166.7	149.2	137.0	130.9
38	230.2	216.7	202.1	189.9	178.3	169.5	153.7	145.7	138.1

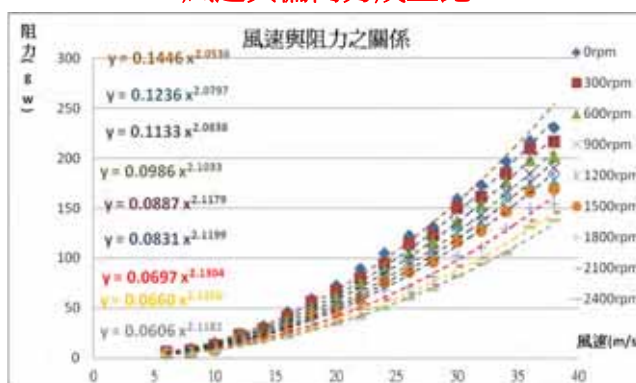
偏向力與阻力之關係



風速與偏向力成正比



轉速與偏向力成正比



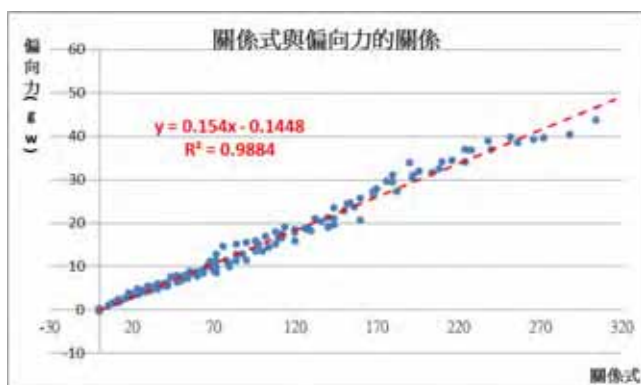
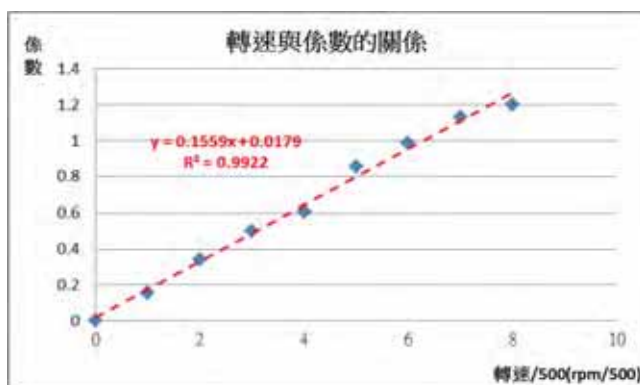
風速的平方與阻力成正比



轉速與阻力成線性關係

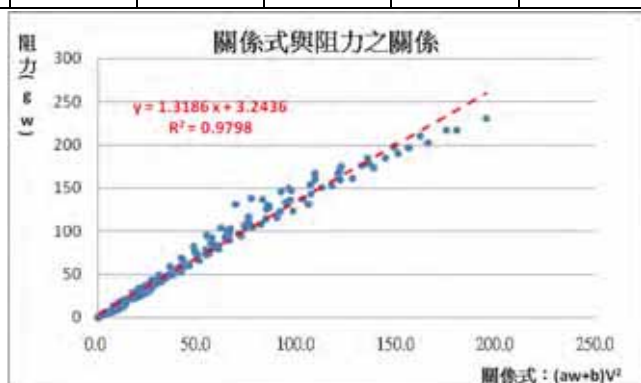
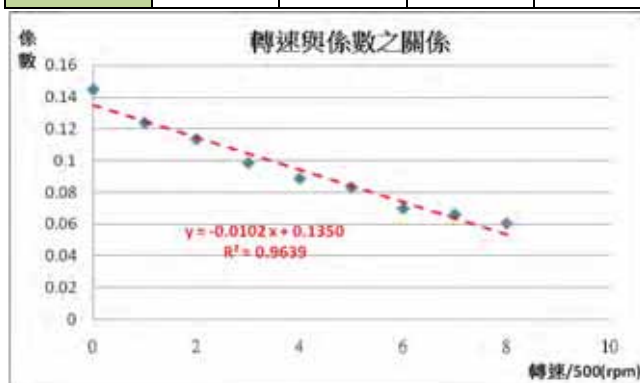
偏向力之公式整合

轉速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
轉速/300	0	1	2	3	4	5	6	7	8
係數	0	0.1557	0.3428	0.5003	0.6063	0.8559	0.9844	1.12831	1.1990



### 阻力之公式整合

轉速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
轉速/300	0	1	2	3	4	5	6	7	8
係數	0.1446	0.1236	0.1133	0.0986	0.08878	0.0831	0.0697	0.0660	0.0606



(四)討論：1.風速(V)與轉速(R)兩者皆分別與偏向力(F)呈線性關係，故利用研究五的轉換法可得到偏向力的關係式  $y = 0.154x + 0.1448$ ，將其整合後得到偏向力與風速及轉速的關係

$$\text{式為： } L = \frac{0.154}{300} V \times R + 0.1448$$

2.從轉速與係數的迴歸關係，可得到關係式， $y = -0.0102x + 0.1350$  轉換後可得關係式

$$C = \frac{-0.0102}{300} R + 0.1350$$

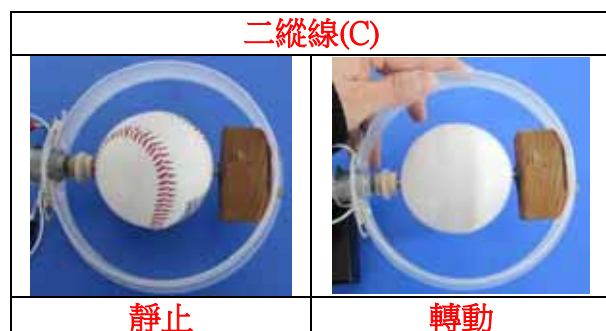
$$\text{係式為： } F = 1.3186 \left( \frac{-0.0102}{300} R + 0.1350 \right) \times V^2 + 3.2436$$

3.從上列的數據及圖表可知，不同旋轉面的球，會對偏向力及阻力造成影響。四縫線旋轉的球在風速 38m/s、轉速 2400rpm 下，偏向力大幅提升到了 43.7gw，約為二縫線旋轉的 29.6gw 的 1.48 倍左右，而阻力也大幅降低到了 138.1gw，約為二縫線的 176.6gw 的 78.2%。可說是高偏向力、低阻力的旋轉方式。

4.二縫線(A)及四縫線(D)都是傳統的旋轉方式，但是不是還有其他的旋轉方式會造成不同的影響？為了瞭解這些問題，我們開發出了新的旋轉方式進行了以下的實驗。

### 研究七、新種變化球的開發

#### 探討 1、新旋轉方式(二縱線)的偏向力及阻力的關係



(一)目的：測試二縱線(C)旋轉之轉速與球速和偏向力、阻力的關係

(二)步驟：1.將測試裝置二縱線(C)放到測試架。

2.調整風速為 0m/s、6m/s……、36m/s、38m/s 與轉速 0rpm、300rpm、……、2100rpm、2400rpm

做交叉比對，找出其偏向力與阻力的數值，並記錄下來。

(三)結果： 偏向力與轉速、風速之關係 單位(偏向力：gw；轉速：rpm；風速：m/s)

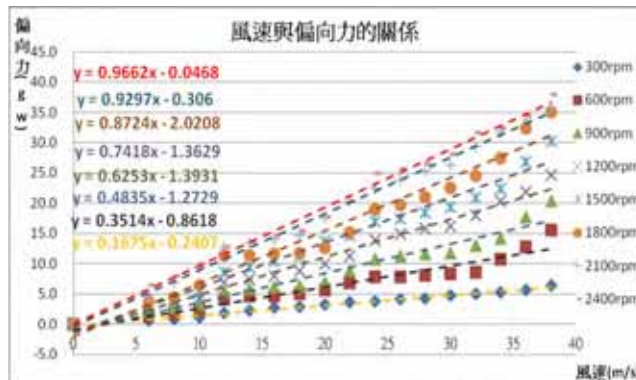
轉速 風速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.0
6	0.0	0.6	1.4	2.1	3.1	3.2	3.6	4.8	6.4
8	0.1	0.9	1.7	2.7	3.7	4.1	4.4	6.9	7.9
10	0.1	1.1	2.3	3.2	4.2	5.2	6.4	9.5	9.9
12	-0.1	1.8	4.1	5.4	6.9	8.6	11.3	12.7	12.7
14	0.1	2.2	4.6	5.9	7.4	9.4	11.3	13.4	13.7
16	-0.1	2.7	4.7	6.1	7.9	10.5	11.6	14.0	14.7
18	0.0	2.9	5.0	6.3	8.8	11.2	11.8	14.7	15.4
20	0.0	3.2	5.7	6.9	9.9	13.6	12.6	17.6	17.7
22	0.0	3.6	6.8	8.8	11.2	14.7	15.2	20.2	20.4
24	0.0	3.7	7.8	10.7	13.9	16.9	19.0	22.5	24.9
26	0.1	4.1	7.8	11.2	14.9	17.5	19.7	23.8	25.7
28	-0.1	4.3	8.1	11.6	15.8	18.4	21.0	25.3	26.6
30	0.0	4.8	8.3	11.8	16.2	19.4	22.5	26.3	28.1
32	0.1	5.0	8.6	13.0	17.9	20.9	24.5	29.4	31.6
34	-0.1	5.3	10.7	14.1	20.4	22.4	27.4	31.7	32.4
36	0.0	5.7	12.7	17.7	21.9	26.8	32.4	33.7	34.4
38	-0.1	6.4	15.6	20.4	24.6	30.2	35.1	35.8	38.0

阻力與轉速、風速之關係 單位(偏向力：gw；轉速：rpm；風速：m/s)

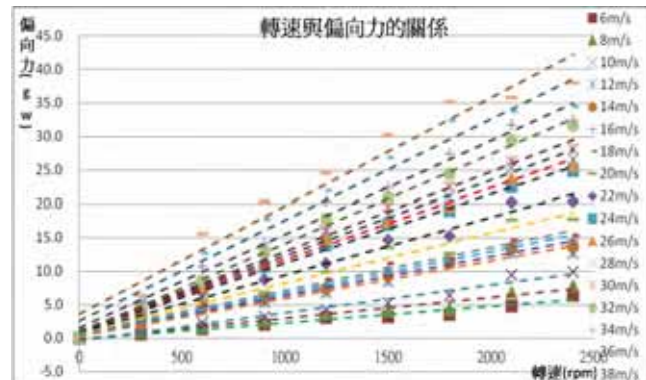
轉速 風速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
0	0.0	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0
6	6.7	6.2	5.7	5.4	4.9	4.5	4.2	4	3.7
8	9.5	8.4	8.0	7.5	6.7	6.3	6	5.6	5.5
10	16.7	15.3	14.5	13.6	12.3	11.1	10	9.3	8.8
12	26.2	25.5	24.1	22.4	20.5	19.4	18.7	16.6	15.9
14	36.8	32.9	31.8	29.7	26.8	24.7	22.9	21.7	20.4
16	43.0	40.4	39.0	36.3	32.4	30.1	28.6	26.5	25.1
18	61.4	58.3	54.5	51.4	47.9	42.7	40.7	39.2	37.4
20	75.7	71.1	68.6	65.0	57.1	53.6	51.2	49.5	48.8
22	86.2	82.1	78.2	73.5	65.5	62.5	59.9	57.4	56.4

24	107.2	100.3	96.2	90.6	83	75.1	71.8	69.5	65.3
26	118.9	113.2	108.2	103.1	89.7	81.7	74.6	68.8	65.4
28	142.9	134.0	127.8	121.0	109.8	100	91.7	84.5	76.4
30	164.5	157.1	149.8	140.4	127.4	120.4	114.3	106.7	101.4
32	188.5	178.6	172.3	163.4	145.4	130.9	119.2	110.5	104.4
34	207.7	200.7	193.6	186.9	170.4	157.9	147	135.6	124.4
36	231.2	215.2	207.9	195.9	180.8	171.3	163.6	155.1	149.4
38	235.2	217.7	208.2	196.1	182.9	172.6	164.5	156.8	150.2

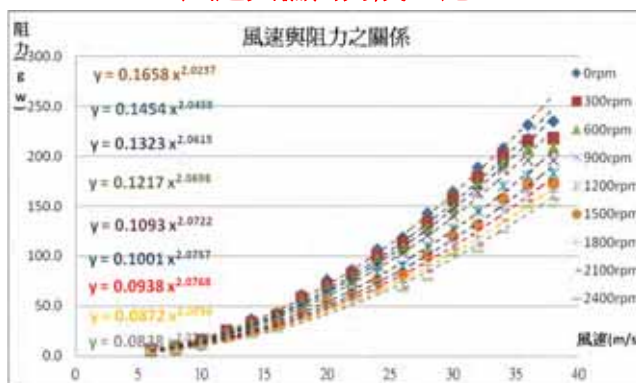
偏向力與阻力之關係



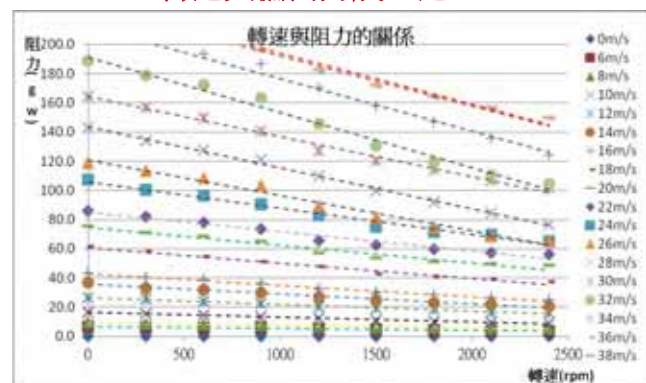
風速與偏向力成正比



轉速與偏向力成正比



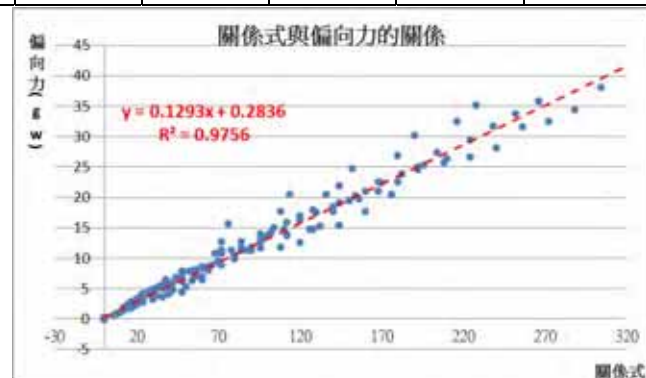
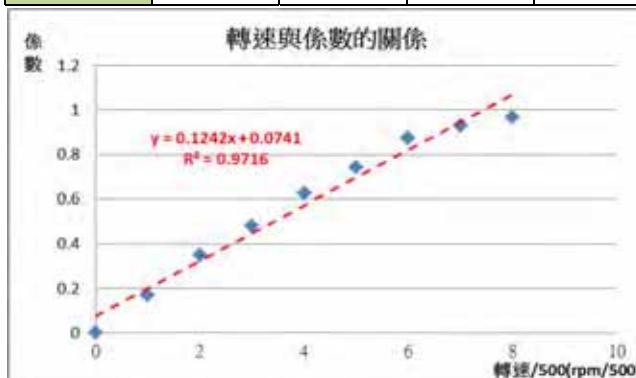
風速的平方與阻力成正比



轉速與阻力成線性關係

偏向力之公式整合

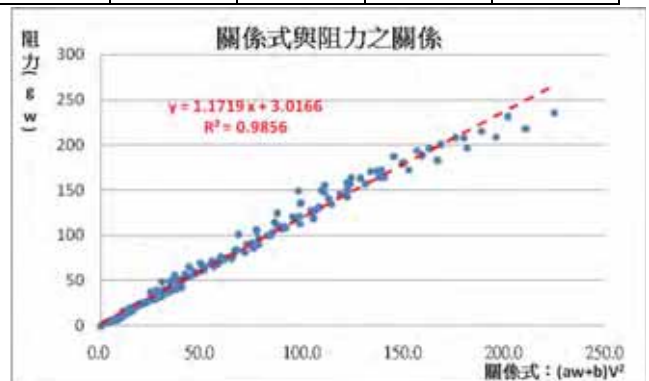
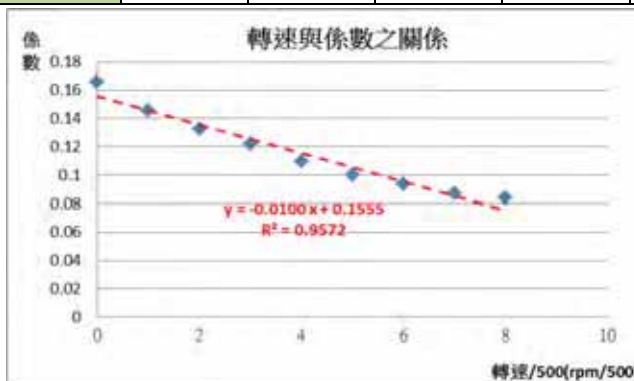
轉速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
轉速/500	0	1	2	3	4	5	6	7	8
係數	0	0.1675	0.3514	0.4835	0.6253	0.7418	0.8724	0.9297	0.9662





### 阻力之公式整合

轉速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
轉速/500	0	1	2	3	4	5	6	7	8
係數	0.1658	0.1454	0.1323	0.1217	0.1093	0.1001	0.0938	0.0872	0.0838



(四)討論：1.風速(V)與轉速(R)兩者皆分別與偏向力(F)呈線性關係，故利用研究五的轉換法可得到偏向力的關係式  $y = 0.1293x + 0.2836$ ，將其整合後偏向力與風速及轉速的關係式

$$\text{為： } L = \frac{0.1293}{300} V \times R + 0.2836。$$

2.從轉速與係數的迴歸關係，可得到關係式  $y = -0.0100x + 0.1555$ ，轉換後得關係式，

$$C = \frac{-0.0100}{300} R + 0.1555$$

和阻力的關係式  $y = 1.1719x + 3.0166$  整合後得到阻力的關係

$$\text{式為： } F = 1.1719 \left( \frac{-0.0100}{300} R + 0.1555 \right) \times V^2 + 3.0166。$$

3.二縱線(C)的**最大偏向力為 38.0gw**，已經達到了傳統二縫線(29.6gw)的 1.25 倍左右，但仍比不上四縫線的 43.7gw，但**阻力部分則大幅降到了 150.2gw**，約為二縫線(176.6gw)的 **85.1%**，但仍比上四縫線的 138.1gw 大，可說是中偏向力、中阻力的旋轉方式。但是不是還有其他的方式可以同時提升偏向力及降低阻力？為了找尋這樣的旋轉面，我們繼續了以下測試。

### 探討 2、新旋轉方式(一縱線)的偏向力及阻力的關係

(一)目的：測試一縱線(D)旋轉之轉速與球速和偏向力、阻力的關係

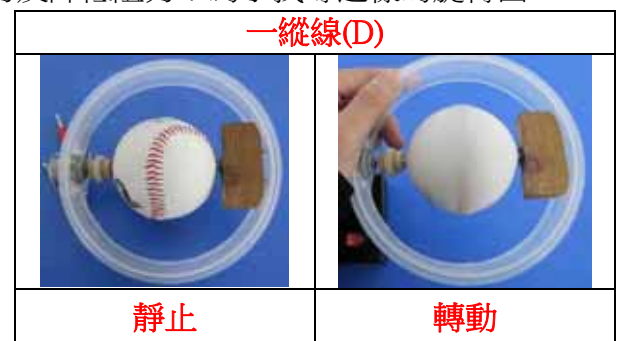
(二)步驟：1.將測試裝置一縱線(D)放到測試架。

2.調整風速為 0m/s、6m/s、...、36m/s、38m/s 與轉速 0rpm、300rpm、...、2100rpm、2400

rpm 做交叉比對，找出其偏向力與阻力的數值，並記錄下來。

(三)結果：結果： 偏向力與轉速、風速之關係 單位(偏向力：gw；轉速：rpm；風速：m/s)

轉速 風速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
0	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
6	-0.1	1.4	2.3	3.3	4.4	4.5	5.2	5.7	8.5
8	0.0	1.6	3.7	4.4	6.0	6.2	6.6	6.9	8.8

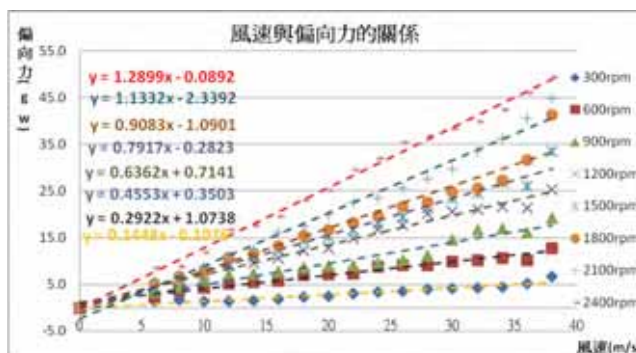


10	-0.1	1.3	4.3	5.7	7.0	8.1	7.8	8.8	11.8
12	0.1	1.4	5.2	6.9	8.9	9.4	10.7	10.9	16.6
14	0.0	1.5	5.5	7.3	9.6	10.7	11.6	12.2	17.5
16	0.0	1.9	5.8	7.8	10.6	12.4	13.2	16.0	19.6
18	0.0	2.3	6.9	8.7	12.2	14.6	15.5	17.4	23.1
20	-0.1	2.5	7.1	8.9	12.7	15.2	16.7	19.9	25.2
22	0.1	3.0	7.3	9.1	14.8	16.7	18.2	22.5	29.6
24	0.1	3.3	8.8	9.5	16.8	18.1	19.7	23.5	31.9
26	0.0	3.5	9.1	10.1	17.7	19.4	21.7	25.6	35.5
28	-0.1	4.0	9.1	11.2	20.1	21.3	22.6	27.6	36.8
30	0.0	4.1	9.8	14.6	20.6	23.5	24.9	29.7	38.3
32	-0.1	4.2	10.2	16.7	21.0	24.6	25.6	33.4	39.8
34	-0.1	4.4	10.6	17.0	21.7	26.8	27.3	36.2	42.4
36	-0.1	5.2	10.2	16.0	21.4	26.1	31.6	40.6	46.0
38	-0.1	6.6	12.8	19.3	25.3	33.4	41.3	44.8	49.4

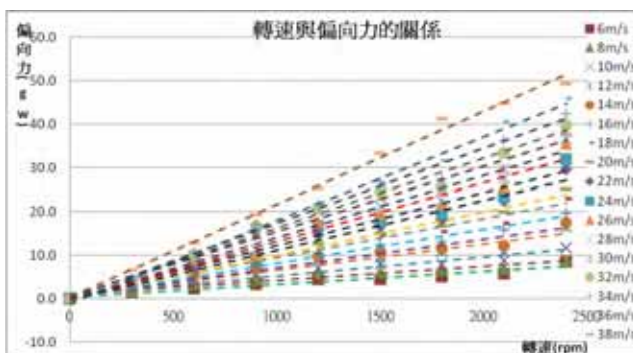
阻力與轉速、風速之關係 單位(偏向力：gw；轉速：rpm；風速：m/s)

轉速 風速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
0	0	0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0	0.0
6	7.1	6.1	5.4	5.1	4.7	4.3	3.9	3.6	3.4
8	8.1	7.2	6.6	6.1	5.4	4.9	4.3	3.9	3.5
10	15.5	13.8	12.5	11.4	10.5	9.8	9.0	8.1	7.6
12	24.3	22.7	20.3	19.0	17.7	16.7	15.6	14.5	14.0
14	29.5	27.5	25.3	23.4	20.6	18.4	16.2	14.8	14.2
16	40.8	38.3	35.5	32.5	29.4	26.4	22.7	20.1	18.7
18	56.2	51.7	46.6	43.5	40.1	37.9	35.2	32.9	31.4
20	66.1	59.1	53.3	49.2	45.9	39.5	36.7	33.9	32.1
22	79.5	69.7	62.0	56.0	50.9	45.8	41.6	37.7	35.8
24	105.2	92.7	85.0	79.0	72.4	68.0	63.8	57.6	54.2
26	117	104.6	93.6	80.6	73.8	68.8	64.4	58.6	55.4
28	146.1	131.6	109.8	94.2	84.9	77.5	72.2	65.8	64.0
30	161.3	147.1	133.1	124.4	112.7	105.5	96.1	86.2	83.5
32	180.7	162.3	143.5	128.1	116.2	106.0	99.6	88.9	84.8
34	203.4	172.4	158.4	141.1	121.0	114.1	103.2	92.7	90.6
36	229.7	208.2	191.0	175.8	162.6	151.4	139.0	126.7	119.2
38	235.8	216.6	199.7	185.6	170.0	157.0	146.0	134.1	129.1

偏向力與阻力之關係



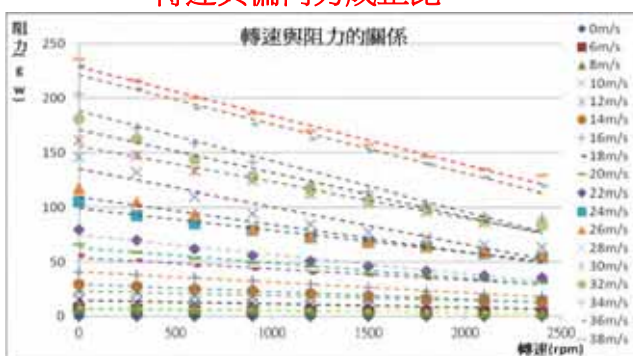
風速與偏向力成正比



轉速與偏向力成正比



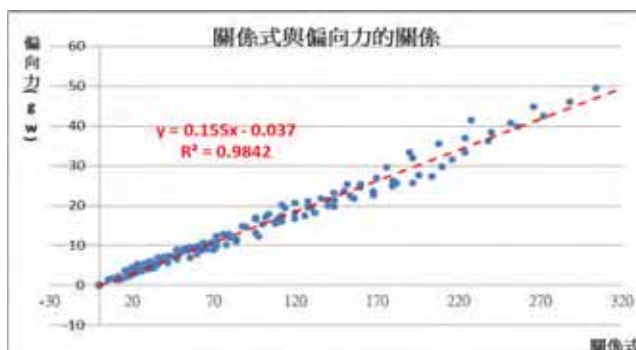
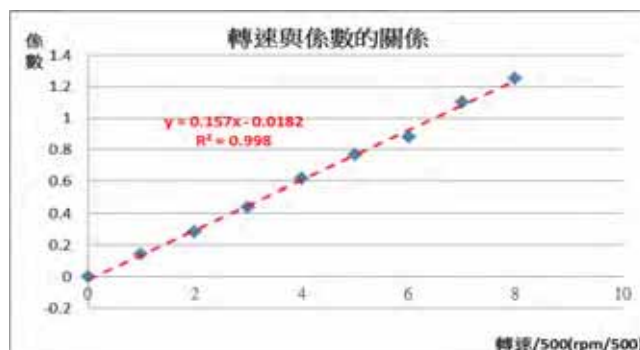
風速的平方與阻力成正比



轉速與阻力成線性關係

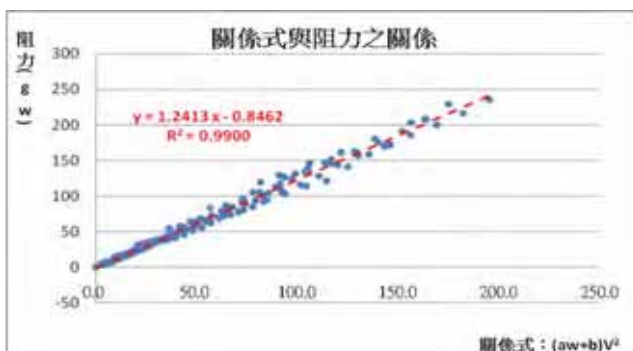
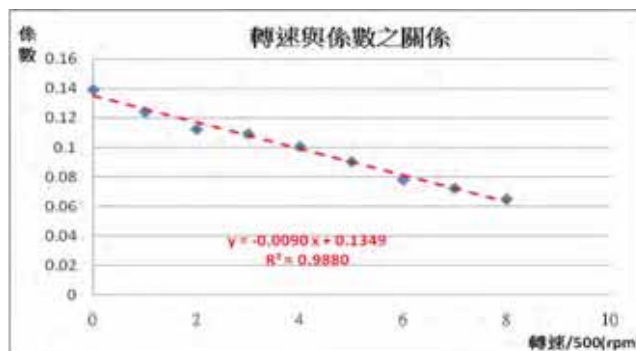
### 偏向力之公式整合

轉速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
轉速/500	0	1	2	3	4	5	6	7	8
係數	0	0.1448	0.2922	0.4553	0.6362	0.7917	0.9083	1.1332	1.2899



### 阻力之公式整合

轉速	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
轉速/500	0	1	2	3	4	5	6	7	8
係數	0.1391	0.1241	0.1123	0.1092	0.1005	0.0903	0.0780	0.0723	0.0649



球種比較(以二縫線為基準)

球種	二縫線	四縫線	二縱線	一縱線
最大偏向力(gw)	29.6	43.7	38.0	49.4
倍數關係	1.00	1.48	1.25	1.67
最小阻力(gw)	176.6	138.1	150.2	129.1
百分比關係	100%	78.2%	5.1%	73.1%
最大阻力(gw)	230.4	230.2	235.2	235.8

(四)討論：1.風速(V)與轉速(R)兩者皆分別與偏向力(F)呈線性關係，故利用研究五的轉換法可得

偏向力的關係式  $y = 0.155x - 0.037$ ，將其整合後得關係式： $L = \frac{0.155}{300}V \times R - 0.037$

2.阻力部分，從轉速與係數的迴歸關係，可得到關係式  $y = -0.0090x + 0.1349$ ，轉換後

可得關係式  $C = -\frac{0.0090}{300}R + 0.1349$ ，和阻力的關係式  $y = 1.2413x - 0.8462$  整合後得

到阻力的關係式為： $F = 1.2413(-\frac{0.0090}{300}R + 0.1349) \times V^2 - 0.8426$

3.一縱線(D)旋轉的方式在風速 38m/s、轉速 2400rpm 的情況下，最大的偏向力達到 49.4gw 不僅大幅提升至二縫線(29.6gw)的 1.67 倍之多，更超越了四縫線的 43.7gw。阻力部分則降到 129.1gw，約為二縫線(176.6gw)73.1%，比四縫線的 138.1gw 更小，可說是另一種高偏向力、低阻力的極致球種。

4.從前面的研究，我們找出了四種旋轉方式，具有不同的特性，分別為(A)：低偏向力、高阻力；(B)：高偏向力、低阻力；(C)：中偏向力、中阻力；(D)：高偏向力、低阻力。如配合各種變化球的特性，調整旋轉方式，一定可以使其球路更加完美。

5.從結果中，我們亦發現，球不旋轉的時候，四種棒球的阻力為 230~236gw 之間，相差並不大，但開始旋轉時，阻力就開始下降，偏向力也開始上升。高偏向力的旋轉方式，通常具有低阻力，顯示高偏向力的旋轉方式，較易帶動氣流，使得阻力大幅減小。

## 研究八、棒球的旋轉與球速和好球帶及打擊的關係

### 探討 1、好球帶的範圍

(一)目的：分析好球帶的範圍

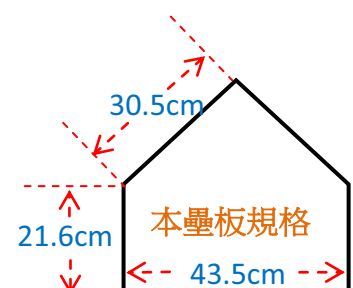
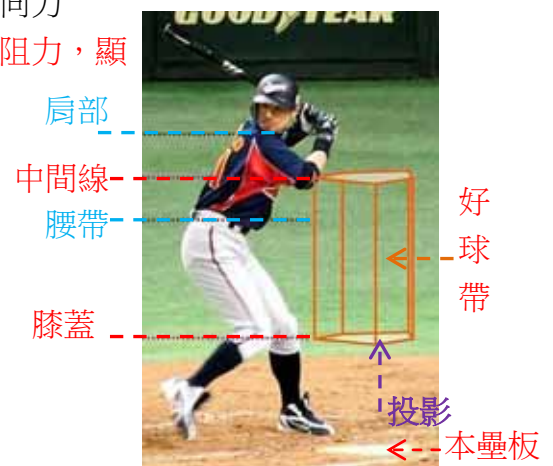
(二)步驟：1.將學校同學分成 A：160~170 公分、B：170~180 公分及 C：180~190 公分三組。

2.請三組不同身高的同學擺好打擊的動作，測量褲子腰帶上緣與肩部的中間線到膝蓋的距離。

3.將三組同學測量的結果求平均，以訂出好球帶的範圍。

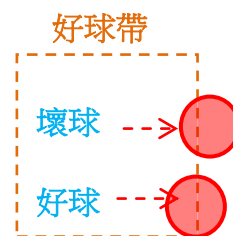
(三)結果：

組別	A	B	C
最高點(cm)	113.8	123.5	130.3





最低點(cm)	49.1	54.6	59.2
高度差	64.7	68.9	71.1
最大寬度(cm)	43.5	43.5	43.5



- (四)討論：1.不同身高的同學，量測出來的好球帶範圍在高低點上都不太相同，身高越高的組別，好球帶高度差越大，但寬度都為以本壘板寬度。
- 2.美國職棒選手大都身材高大，故取 C 組的好球帶平均結果做為之後討論的標準。
- 3.好球帶的判斷以球心的位置為主(如右圖)，故雖然球的一半在外面，只要球心在好球帶內，就可判為好球。

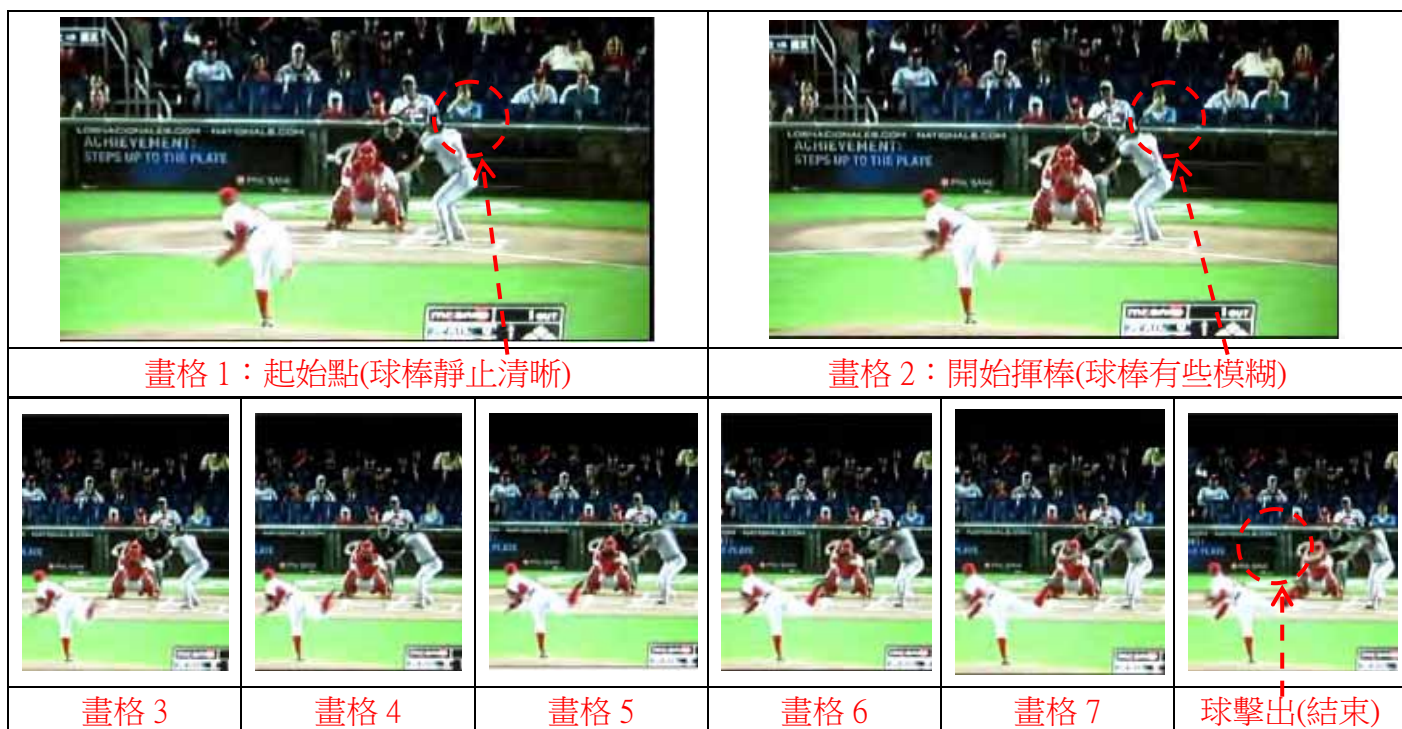
## 探討 2、揮棒時機的分析

(一)目的：分析打擊者揮棒的時機

- (二)步驟：1.查詢大聯盟職棒比賽影帶，每場任選 6 名打擊成功的選手，並用錄影機錄起來，其賽事及時間如下表。
- 2.利用電腦軟體(威力導演)將影片分成 1/30 秒一格，計算選手的揮棒的時間，並求平均值。利用統計到的資料，配合球速，找出球路判斷點。

時間	賽事	時間	賽事
2011/09/24	MLB 勇士 VS 國民	2011/09/17	MLB 大都會 VS 勇士
2011/09/21	MLB 大都會 VS 紅雀	2011/08/30	MLB 天使 VS 水手
2011/09/05	MLB 白襪 VS 老虎	2011/09/01	MLB 光芒 VS 遊騎兵

## 揮棒時機判斷



打擊時間計算：每格 1/30 秒，共有 8 格畫面，7 個時間間隔，故打擊時間為 7/30 秒。

(三)結果：

時間單位：秒

打序	1	2	3	4	5	6	7	8	9
揮棒時間	7/30	8/30	6/30	9/30	8/30	7/30	8/30	8/30	9/30

打序	10	11	12	13	14	15	16	17	18
揮棒時間	9/30	7/30	8/30	7/30	7/30	8/30	8/30	9/30	8/30
打序	19	20	21	22	23	24	25	26	27
時間	8/30	7/30	7/30	7/30	8/30	8/30	7/30	8/30	7/30
打序	28	29	30	31	32	33	34	35	36
揮棒時間	8/30	7/30	8/30	7/30	7/30	8/30	8/30	8/30	7/30

統計結果：最快：0.2 秒；最慢 0.3 秒；平均：0.26 秒

- (四)討論：
- 1.根據結果，大聯盟打者的最短時間為 0.2 秒，最長約 0.3 秒，平均約為 0.26 秒。
  - 2.取其平均值 0.26 秒為揮棒時間，故從球投出到進入好球帶的時間扣掉 0.26 秒，即為打者判斷球路的時間，稱為判斷區。如何在判斷區內混淆打者，使打者無法判斷或造成誤判，實為變化球的一大重點。
  - 3.為了達到此目的，在判斷區內的球的路徑變化和直球越接近越好，等到過了判斷區後，則是差越多越好。
  - 4.為了分析球路的關係，必須要將上面實驗所球的數據配合電腦計算，描繪出球路變化的關係，以作更完整的分析，故進行了以下的研究。

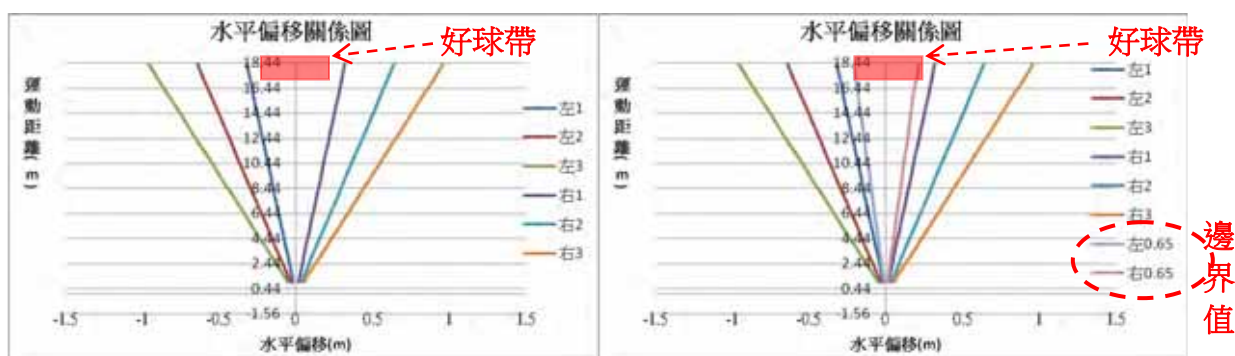
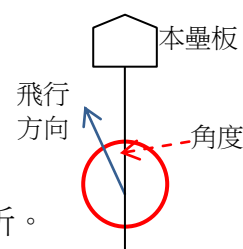
## 研究九、棒球軌跡模式的完整建立

### 探討 1、不同出手角度(水平)對軌跡的影響

(一)目的：分析不同水平出手角度的運動軌跡

- (二)步驟：
- 1.如右圖，分別取向左  $0\sim 3^\circ$  及向右  $0\sim 3^\circ$  為水平出手角度。
  - 2.以水平位移為橫軸，球向前運動的距離為縱軸，輸入 Excel 作圖分析。
  - 3.利用逼近法，找出最接近好球帶的角度，並用 Excel 作圖。

(三)結果：假設水平偏移及向前運動皆為等速度運動，其關係如下

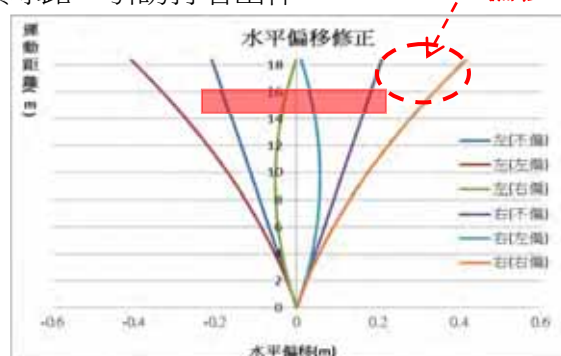


- (四)討論：
- 1.由上圖可知，當水平出手角度大於  $1^\circ$  時，就無法投進好球帶，對於引誘打者，似乎沒有太大的效果。
  - 2.水平角度約在  $0.65^\circ$  時(若球沒有偏向力)，可以投進好球帶，若配合球的旋轉所造成的偏向力，一定可以投出偏內角或外角的刁鑽球路，引誘打者出棒。

### 探討 2、偏向力對水平軌跡的影響

(一)目的：將水平軌跡加入偏向力的影響以修正路線

- (二)步驟：
- 1.取水平角度  $0.65^\circ$  的球路，並加入偏向力的影響輸入 Excel 作圖分析。



(三)結果：如上頁圖

(四)討論：1.水平軌跡加入 30gw 偏向力時，利用 Excel 每 0.01 秒修正一次偏移，發現路徑會有將近 20 公分的偏移，將是打者揮棒落空的關鍵。

### 探討 3、不同出手角度(垂直)對軌跡的影響

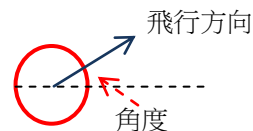
(一)目的：分析不同垂直出手角度的運動軌跡

(二)步驟：1.如右圖，分別取球速 40m/s，及向上 0~3°及向下 0~3°為垂直出手角度。

2.設投球高度為 2 公尺，並以球向前運動的距離為橫軸，垂直位移為縱軸，輸入 Excel 作圖分析。

3.利用逼近法找出最接近好球帶的出手角度。

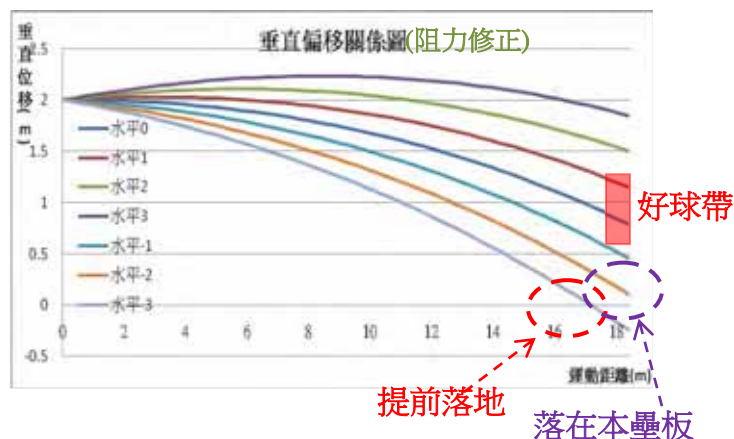
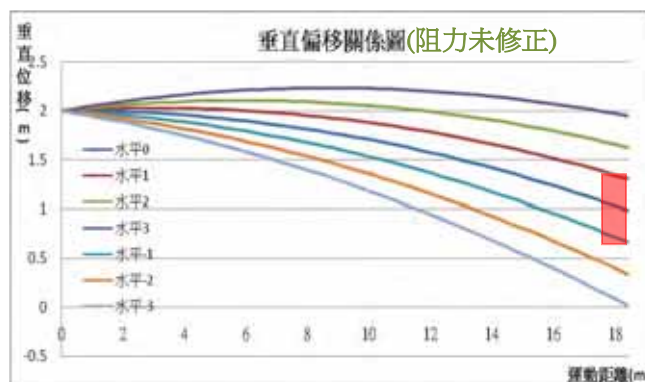
4. 將偏移軌跡利用之前找到的阻力與球速的關係，加入阻力的影響，接著每 0.01 秒重新計算一次速度變化，將垂直偏移圖進行修正(如下圖)。



		$f_x = -0.9161 * (-0.0129/500 * 2000 + 0.1951) * E6^{1/2} + 5.4761$					
		轉速					
		球速					
		球速及阻力皆隨時間變化					
時間(秒)	水平0	水平0	水平0	垂直0	垂直0	垂直0	垂直0
	速度(m/s)	位移(m)	速度(m/s)	位移(m)	速度(m/s)	位移(m)	速度(m/s)
0	215.8127	40	0	0	0	2	215.7
0.01	214.3324	39.859	-0.39859	-0.098	2	214.	
0.02	212.8675	39.71897	-0.79578	-0.196	1.99902	212.8	

阻力關係式(A)

(三)結果：



(四)討論：1.如上圖左，棒球純粹考慮重力，在不同的出手角度時，會落在不同的位置，其中水平及上下 1°出手，皆可落在好球帶內，但這個是在不受空氣阻力影響的情況下才會出現的狀況。

2.棒球在飛行的時候會受到空氣阻力的影響，因此球速會逐漸變慢，但若球速變慢，阻力也會跟著變小，因此阻力並不是一個定值，會隨著球速而作改變。

3.為了省去繁瑣的計算，我們使用了電腦設計編碼，每 0.01 秒做一次速度及阻力的修正，使偏移的情形更加接近實際的情況，而我們之前求到的阻力與速度及轉速的關係，也在這裡發揮了最大的效用。

4.綜合了以上的經驗，我們若同時考慮風速、轉速、角度及旋轉方式，將可以建立完整的棒球軌跡模式，此種模式，不僅可以任意模擬各種變化球，甚至可以修正或開



發出新的變化球，這真是一個令人興奮的消息。

#### 探討 4、棒球的完整軌跡模式

(一)目的：建立完整的棒球軌跡模式

(二)步驟：1.考慮風速、轉速、角度及旋轉方式的影響，利用 Excel 建立完整的軌跡模式。

(三)結果：

#### 資料建構

輸入各種資料

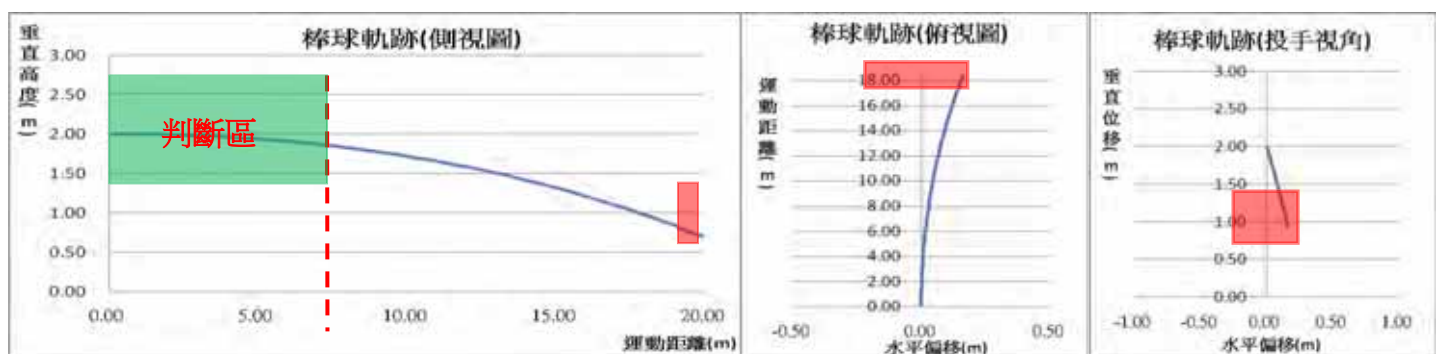
角度修正

偏向力公式

選擇旋轉模式

棒球資料			軌跡數據									
球速(km/hr)	轉速(rpm)	出手高度(m)	出手時間	運動球速	運動距離	垂直速度	垂直位移	水平球速	水平位移	阻力變化	偏向力	偏向力
旋轉角度(度)	垂直出手角度	水平出手角度	時間(秒)	球速(m/s)	距離(m)	球速(m/s)	高度(m)	球速(m/s)	偏移(m)	阻力(gw)	垂直(gw)	水平(gw)
150	1800	2.00	0.00	41.67	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	241.91	-142.50	13.00
30	0	0	0.01	41.51	0.42	-0.09	2.00	0.01	0.00	240.12	-142.52	12.95
			0.02	41.35	0.83	-0.19	2.00	0.02	0.00	238.35	-142.55	12.90
			0.03	41.20	1.25	-0.28	2.00	0.03	0.00	236.60	-142.58	12.85
			0.04	41.04	1.66	-0.37	1.99	0.03	0.00	234.87	-142.61	12.80
			0.05	40.89	2.07	-0.47	1.99	0.04	0.00	233.16	-142.64	12.75
			0.06	40.74	2.48	-0.56	1.98	0.05	0.00	231.46	-142.66	12.71
			0.07	40.58	2.89	-0.65	1.98	0.06	0.00	229.79	-142.69	12.66
			0.08	40.43	3.30	-0.75	1.97	0.07	0.00	228.13	-142.72	12.61
			0.09	40.29	3.70	-0.84	1.96	0.08	0.00	226.49	-142.75	12.56
			0.10	40.14	4.10	-0.93	1.95	0.08	0.01	224.87	-142.77	12.52
			0.11	39.99	4.51	-1.03	1.94	0.09	0.01	223.27	-142.80	12.47
			0.12	39.84	4.91	-1.12	1.93	0.10	0.01	221.69	-142.83	12.43

#### 軌跡三視圖(紅色部分為好球帶)



(四)討論：1.利用上列的軌跡模式，只要輸入各種資料，馬上就可以得到棒球軌跡的三視圖，描述從三種不同的角度看到的軌跡變化，使我們可以輕易地瞭解棒球偏移的路徑，以及球的落點並進行各種科學式的分析。

2.以球速 150km/hr 為例，利用大聯盟的平均揮棒時間 0.26 秒計算，從球投出到判斷球路，只有 0.18 秒左右的時間，球大約只走了 7.5 公尺，以此計算出來的判斷區標在上圖，只要在判斷區內，球的變化和速球差不多，就可以有混淆打者的效果。

#### 研究十、利用軌跡模式分析變化球



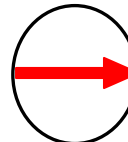
##### 探討 1、傳統變化球的分析

(一)目的：分析傳統變化球的軌跡

(二)步驟：1.查詢傳統變化球(如下圖)的握法及旋轉方式(打者看到的方向)。

2.利用軌跡模式分析並加以改良。

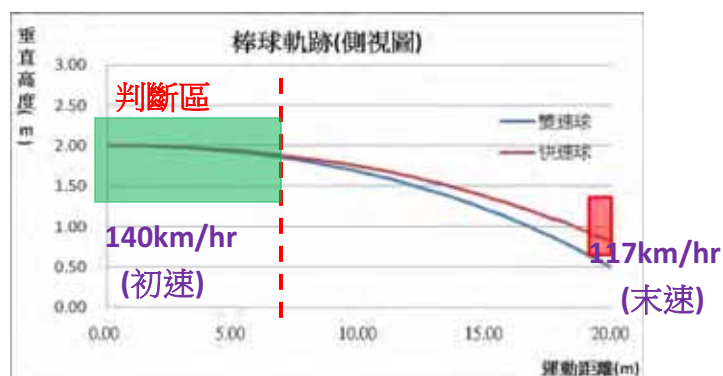
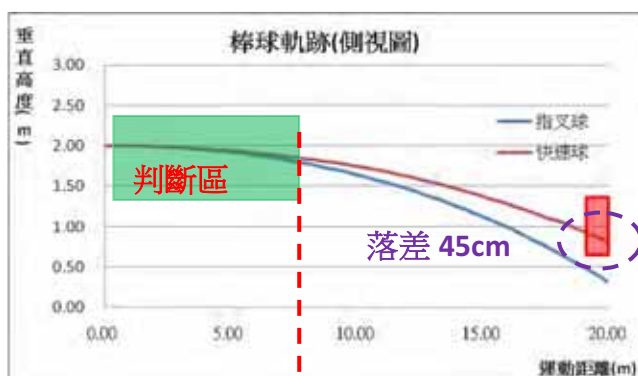


球種	速球	指叉球	變速球	曲球	滑球	伸卡球
握法						
旋轉方向 (打者看到的方向)						
球速(km/hr)	150	135	140	135	135	150
轉速(rpm)	1800	600	900	1800	1800	1800
出手角度	0°	0°	0°	0°	0°	0°
旋轉方式	二縫線	二縫線	二縫線	二縫線	二縫線	二縫線

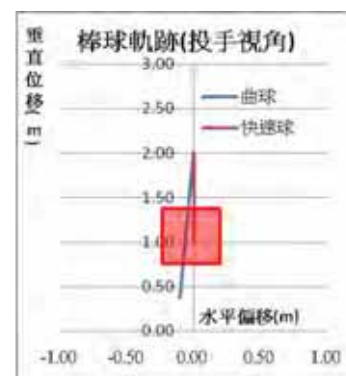
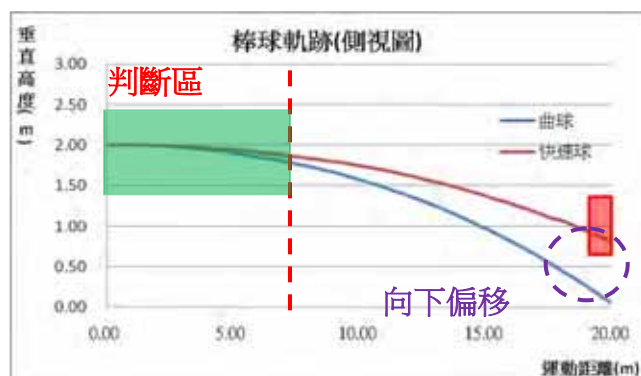
(三)結果：依每種球的特性，選用適當的軌跡圖和快速球比較，結果如下：

指叉球

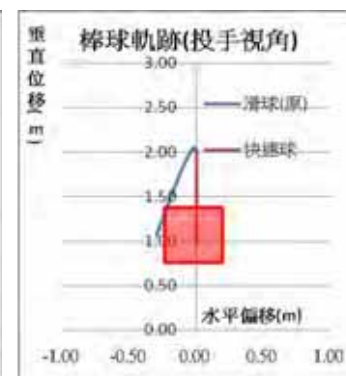
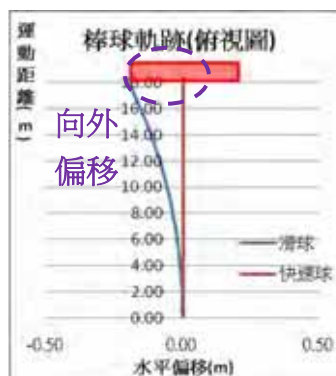
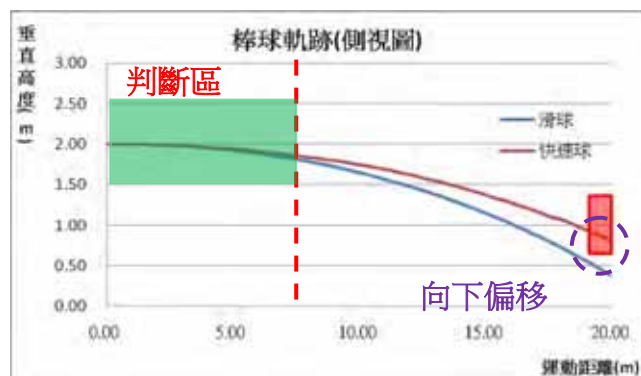
變速球



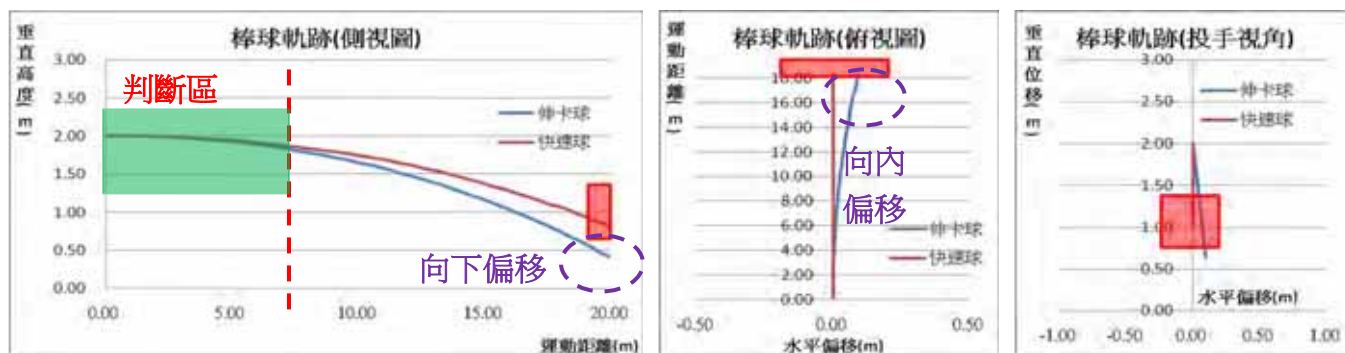
曲球



滑球



伸卡球



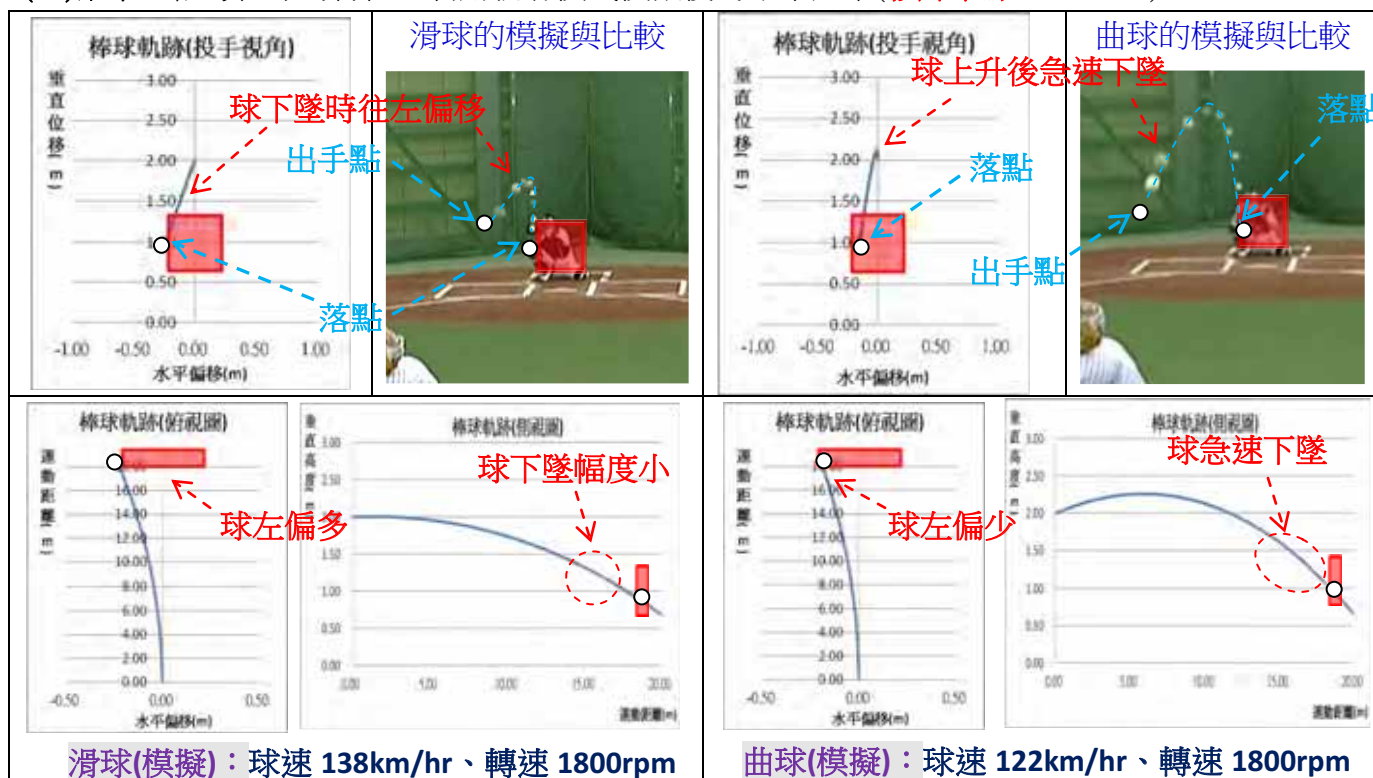
- (四)討論：
1. **指叉球**的旋轉方向和直球差不多，但轉速卻比直球慢，因此有較大的阻力和較小的向上偏向力。雖然在判斷區內的軌跡和快速球差不多，但是進入本壘前和快速球產生了將近 40cm 的落差，讓人有種球往下掉的感覺，而造成揮棒落空。
  2. **變速球**因為握法的關係，所以一開始球速就比快速球慢，但因為投球動作和直球相同，所以讓打者以為是直球，但因為轉速也不快，因此阻力比較大，到了本壘，速度降到約 117km/hr，造成打者過早揮棒。
  3. **曲球**旋轉的方向和直球幾乎完全相反，除了重力再加上向下的偏向力，因此可以產生更大的落差，而旋轉方向稍微傾斜，造成除了向下偏，還有往外角偏移的效果。
  4. **滑球**為水平偏轉的球種，因此其橫向位移較大，在縱向方面，受重力的影響，也為往下掉，最後就產生往外角下側偏移的效果。
  5. **伸卡球**旋轉方向和曲球對稱，因此會往打者內角下側偏移，造成打者被擠壓，或是打到球的上緣，形成滾地球。

## 探討 2、模擬與實際的變化球球路比較

(一)目的：將模擬的變化球軌跡和實際的做比較

(二)步驟：1.利用軌跡模式配合實際的球速及預測的轉速，將軌跡模擬出來並和影片上的做比較。

(三)結果：依每種球的特性，利用軌跡模式模擬後的結果如下(影片來源：Youtube)



- (四)討論：1.滑球從模擬的圖形可以看出，球路往左外角偏移，因受重力的影響，所以自然下墜，但下墜幅度不像曲球那麼多。
- 2.曲球因為視角的關係所以看到的偏移的弧度有些差異，但看得出來球路先上升，至末段時急速下降，最後往左下方偏移，和預測的路徑差不多。

### 探討3、變化球的比較與修正

(一)目的：將變化球進行改良或修正

(二)步驟：1.利用軌跡模式將四種旋轉方式的變化球進行圖形及數據模擬並修正。

2.分別就變化球的高低點、末段 x、y 偏移及速差進行比較。

※末段偏移：以最後 3 公尺內的偏移路程為比較基準。

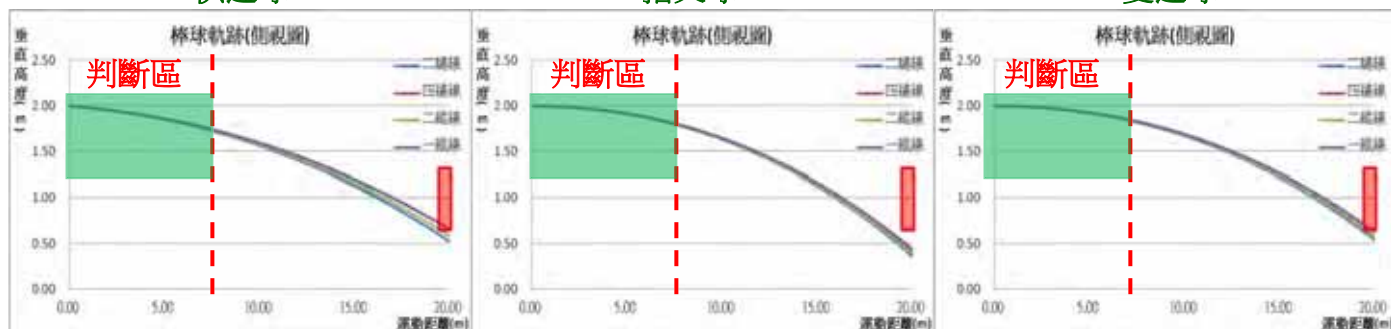
(三)結果：依每種球的特性，利用軌跡模式模擬後的結果如下：(x：水平偏移 y：垂直偏移)

球種		快速球	指叉球	變速球	曲球	滑球	伸卡球
球速(km/hr)		150	135	140	120	140	150
轉速(rpm)		2500	600	900	1800	1800	1800
出手角度		-1°	0°	0°	2°	0°	0°
最高點-最低點(cm)	A	125	136	123	127	127	123
	B	116	132	115	137	123	131
	C	120	134	120	133	127	128
	D	116	132	115	137	123	131
末段 x 偏移 (cm)	A	0	0	0	3	6	3
	B	0	0	0	5	9	4
	C	0	0	0	4	8	4
	D	0	0	0	5	9	4
末段 y 偏移 (cm)	A	34	46	39	47	41	38
	B	32	40	37	50	41	40
	C	33	41	38	49	41	40
	D	32	40	37	50	41	40
向前運動速差(m/s)	A	5.31	6.62	6.43	4.30	4.94	5.41
	B	4.71	6.36	6.10	3.82	4.38	4.73
	C	5.11	6.57	6.37	4.25	5.03	5.21
	D	4.59	6.03	5.84	3.67	4.25	4.62

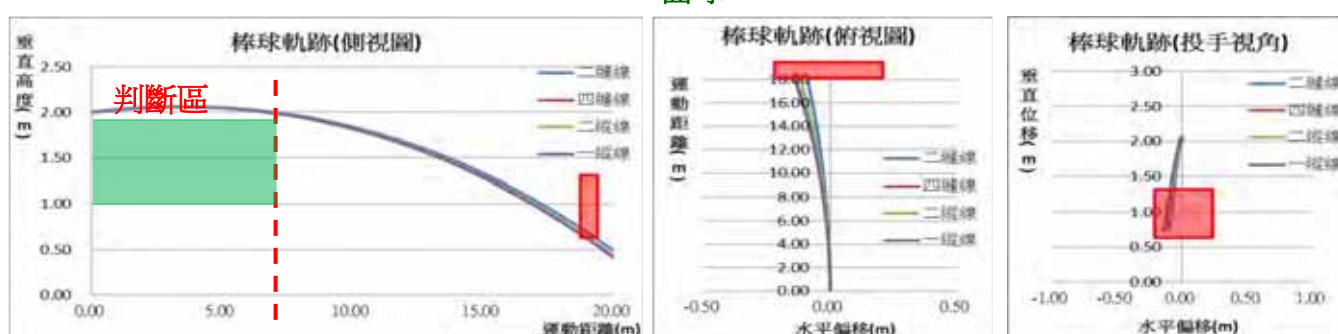
快速球

指叉球

變速球

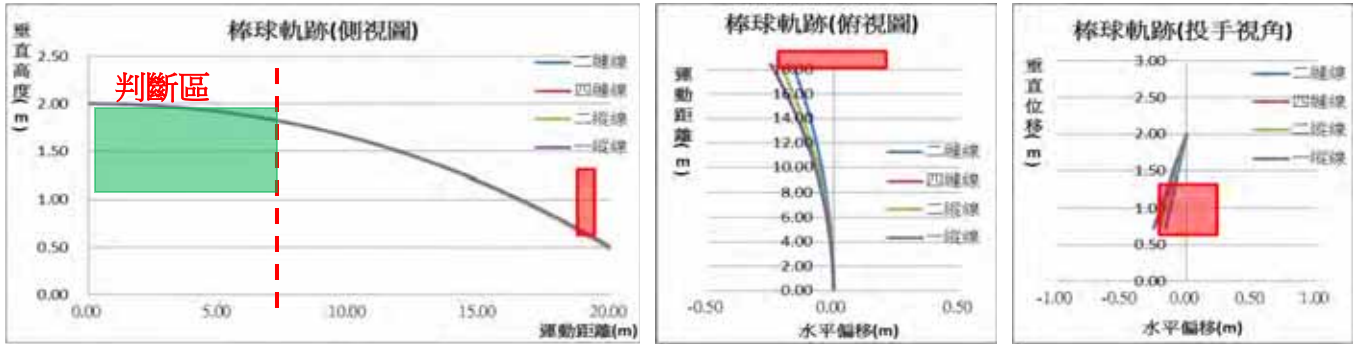


曲球

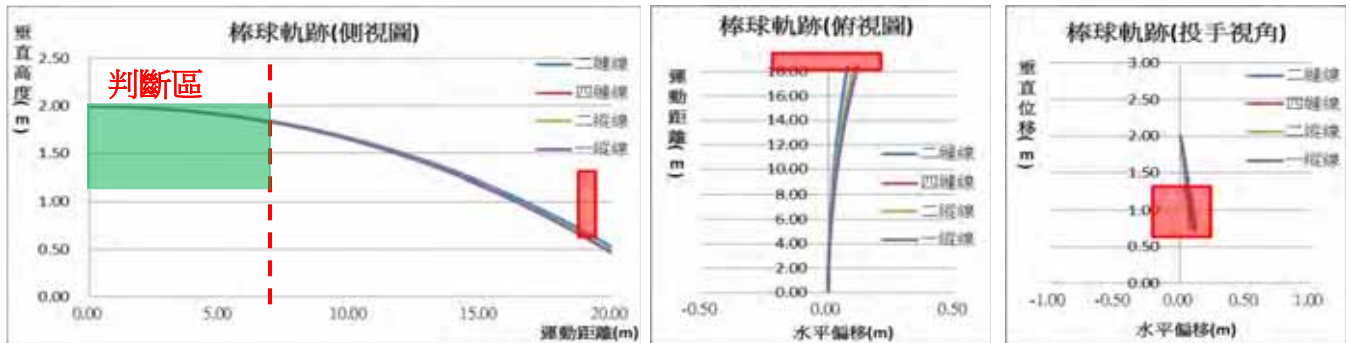




## 滑球



## 伸卡球



- (四)討論：
1. **快速球**修正後更貼近好球帶下緣，比較四種旋轉方式，以二縫線在高低的落差最大，相差約 9 公分，故即使同樣是快速球，也會因為誤判其入球點而揮棒落空。
  2. **指叉球**比較四種不同的旋轉，發現以二縫線的方式有最佳(46 公分)的末段偏移，再加上其他的旋轉方式搭配，即使是指叉球，下墜的幅度也不相同。
  3. **變速球**以高阻力的二縫線可以達到最大的速差。
  4. **曲球**以高偏向力的一縫線最佳，末段垂直偏移高達 50 公分，且因為旋轉方向的關係，會稍微向外角偏移，打者更容易揮棒落空。
  5. **滑球**以一縫線的滑球最具水平偏移威力，末段高達 9 公分的水平偏移，及 41 公分的垂直偏移，入球點跑到了外角下側，角度更加刁鑽，打者更容易揮棒落空。
  6. **伸卡球**以一縫線有最佳的效果，球路往打者內角下側移動更多，更容易造成打者擠壓，若勉強出棒，將容易打到球的上緣變成滾地球，造成打者出局或雙殺。

## 陸、結論

- 1.一開始使用了收縮段，企圖將流速變快，沒想到不但沒有變快，反而變慢，於是改用業務用排風扇，加上整流收縮段，不儘大大提高流速至 39m/s，氣流也更加穩定。
- 2.為了改出更小的微型風速計，我們從玩具飛機上拔下小型螺旋槳，再將旋葉剪短，利用轉速器可以輕易的測出轉速，配合標準檢量線，就可以得到相對的風速。此風速計不儘體積小，又沒有電腦風扇的磁力限制，只要有風就可以測出來，算是一大突破。
- 3.將棒球像串燒一樣的串起來，可以使轉動更加穩定，再利用市面上都可以買到的利樂扣保鮮盒做成測試架，可以任意的改變旋轉角度，大大地突破了過去的研究限制。
- 4.利用壓克力做成測試段，加上自製轉速控制器及風速控制器，可以任意改變球的轉速及其流的流速，再配合力度計來測量，可以同時測到球的垂直力、水平力及阻力，並利用數據機傳入電腦即時分析，使整個測試更加準確。



- 5.在二縫線(A)的測試中發現，球不轉動時，阻力非常的大，而球所受到的偏向力會隨著時間不規則地變化，造成球有些微的晃動，透過電腦的分析，可以清楚看到變化的情形，這也是為甚麼蝴蝶球如此飄忽不定的原因。
- 6.在固定風速及轉速的的條件下，阻力並無太大的變化，但水平力和垂直力則是隨著角度之改變，而分別呈現類似三角函數中  $\sin x$  及  $\cos x$  的波形，再利用其他轉速或風速測都有類似的情形，不同的是最大值發生了改變。
- 7.將四種不同的旋轉方式，分別做偏向力及阻力的測試，發現不管是風速或轉速都會影響到這兩種力量的大小，輸入電腦後分別可以得到多個線性迴歸方程，以風速和偏向力關係為基準，再比較其餘數和轉速的關係，將其整合關係式(如下表)，為日後的軌跡模擬提供了一大利器。

旋轉方式	偏向力關係式(L)	阻力關係式(F)
A：二縫線	$L = \frac{0.1008}{300} V \times R - 0.1106$	$F = 0.9161(-\frac{0.0129}{300} R + 0.1951) \times V^2 + 5.4761$
B：四縫線	$L = \frac{0.154}{300} V \times R + 0.1448$	$F = 1.3186(-\frac{0.0102}{300} R + 0.1350) \times V^2 + 3.2436$
C：二縱線	$L = \frac{0.1293}{300} V \times R + 0.2836$	$F = 1.1719(-\frac{0.0100}{300} R + 0.1555) \times V^2 + 3.0166$
D：一縱線	$L = \frac{0.155}{300} V \times R - 0.037$	$F = 1.2413(-\frac{0.0090}{300} R + 0.1349) \times V^2 - 0.8426$

- 8.除了分析二縫線(A)及傳統的四縫線(B)之外，我們又找出了二縱線(C)及一縱線(D)兩種旋轉方式，最後發現它們分別具有(A)高阻力、低偏向力(B)低阻力、高偏向力(C)中阻力、中偏向力(D)低阻力、高偏向力四種不同的性質，同時也間接發現到了，低偏向力的旋轉方式，通常都帶有很高阻力，高偏向力的則帶有很高阻力，顯示出棒球旋轉時帶動氣流能力強者，阻力關係越小。
- 9.透過電腦軟體威力導演，分析打聯盟打者的打擊時間，找出了球路判斷區，並量出好球帶的位置，以做為球路分析的根據。接著，利用之前找到的偏向力及阻力關係式，輸入 Excel 模擬出各種軌跡圖形，只要輸入各種棒球的資料，馬上就可得到軌跡三視圖，並可分析各種不同球路。
- 10.最後再實際的將軌跡模擬圖用來修正及改變球路並和實際的投球影片比較，我們發現若偏向力方向向上者，偏向力大的球種會產生較小的垂直偏移，若偏向力方向為水平或向下者，選擇偏向力大者可以有較大的垂直或水平偏移，若可搭配不同的旋轉方式，將可以使變化球更加多樣化。

## 柒、未來展望

本次研究成功的研發出軌跡模式，可模擬各種變化球，但美中不足的是無法模擬子彈球，且缺乏實際投球測試，希望之後有機會加入實測的部分，讓這項研究更有參考價值。

## 捌、參考資料

- (一) 康軒文教事業(2011)。自然與生活科技第五冊。第二章 力與運動。台北：康軒文教事業。
- (二) 李志揚與陳政宏(2005)。旋，還是不旋-變化球問題。科學發展。388，54-61。
- (三) 李中傑(2011)。由流體力學之觀點看作用在飛行棒球上的力。物理教育學刊。12，57-72。
- (四) 台灣棒球維基館。<http://twbsball.dils.tku.edu.tw/wiki/index.php/%E9%A6%96%E9%A0%81>
- (五) 維基百科。馬格努斯效應。<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/>

## 【評語】 030112

1. 以相對簡單實驗研究複雜、困難的問題，且實驗完整。
2. 可進一步與數種既存理論模型比較，甚或進一步對理論作定量的檢驗。