

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030107

臺北市立石牌國民中學

指導老師姓名

陳美杏

作者姓名

郭彥廷

# 中華民國第四十四屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物 理

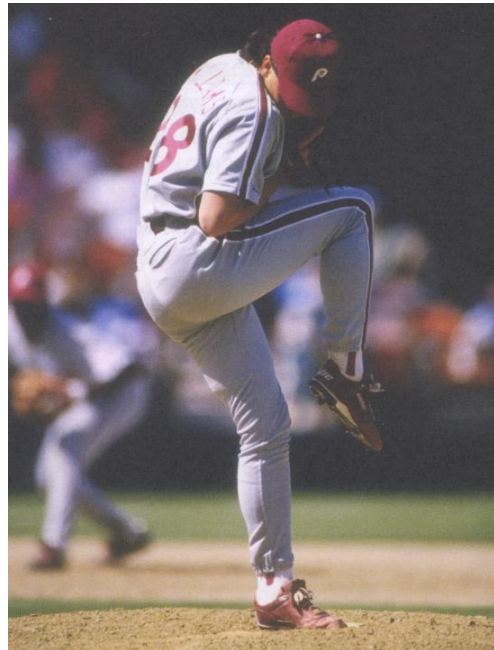
組 別：國 中 組

作品名稱：好球或壞球…

棒球飛行軌跡的分析

關 鍵 詞：鼓風扇、Excel、偏向力

編 號：



# 目錄

壹、摘要 .....	P.1
貳、研究動機 .....	P.1
參、研究目的 .....	P.1
肆、研究器材 .....	P.1
伍、研究步驟與結果 .....	P.2
陸、討論 .....	P.14
柒、結論 .....	P.15
捌、願景 .....	P.16
玖、參考資料 .....	P.16

## 壹、摘要

因對於棒球變化球的好奇，而展開研究之旅，首先我訪談兄弟隊投手教練劉義傳，了解如何投出變化球，接著我利用玩具車的輪胎及四驅車的馬達，製成掌上型發球具，以模擬投手投出各式變化球。利用風速可達 30m/s 的鼓風扇作成風洞，將棒球裝在強力馬達軸承上，也請鄰居鐵工廠，幫我做一個重達 7kg 的槓桿，以承載強力馬達及其上高速旋轉的棒球，利用風洞及槓桿，我歸納出偏向力的數學關係式，而本研究最終目的，也是我的夢想，在電腦 Excel 中，設計一個控制箱，在控制箱中輸入球速、投球角度、旋轉速度、旋轉方向，在電腦螢幕中可立即呈現出棒球飛行軌跡，再輸入投球高度、打擊者身高，電腦可立即判斷是好球或壞球。

## 貳、研究動機

我們看棒球、談棒球，而討論最多的是各種變化球及投手如何投出好球，我對於飛到本壘板的球，竟然會轉彎，深感震撼和疑惑，如此重的球，要改變它的飛行方向，需要多大的力呢？而這個力是空氣阻力呢？還是另有其他種類的力呢？至於另一個問題，投手如何將球投進好球帶，該是許多變因配合的結果，因此一路追尋下去，也希望利用學校所學的電腦知識，分析及呈現研究結果。

## 參、研究目的

- 一、變化球資料的收集。
- 二、掌上型發球具的製作以觀察球的飛行偏向和旋轉方向的關係。
- 三、利用風洞，測量偏向力及風阻力的大小。
- 四、利用電腦，歸納偏向力的數學關係式。
- 五、利用電腦，模擬投手的投球，以比較棒球飛行軌跡的變化。
- 六、利用電腦，判斷投手所投的球，是好球或壞球。

## 肆、研究器材

鼓風扇（照片一）、變頻器、電子秤、槓桿裝置、風速計、測頻器、電腦。



照片一

## 伍、研究步驟和結果

### 研究一、變化球資料的收集

(一) 步驟：

- 1、訪談兄弟隊投手教練劉義傳，如照片(二)，  
並請示範各種變化球的握法如照片(三)~(八)

(二) 結果：



照片(二)

### 1、變化球握法的示範：



照片(三) 滑球



照片(四) 快速直球



照片(五) 伸卡球



照片(六) 曲球

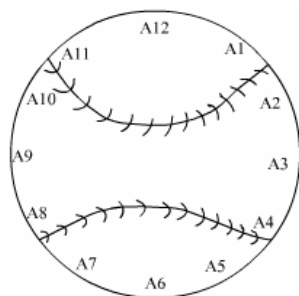


照片(七) 指關節球



照片(八) 指叉球

### 2、變化球和旋轉方向關係圖：



A12→A6：向上飄球

A6→A12：向下曲球

A2→A8：向內滑球

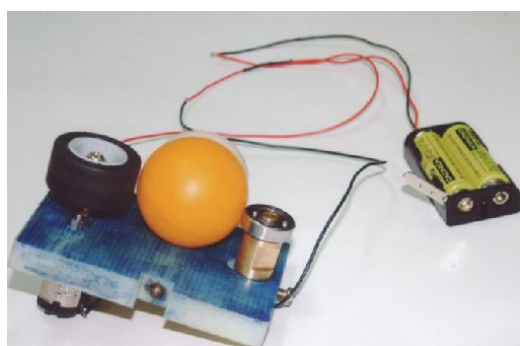
A10→A4：向外滑球

圖(一) 變化球說明圖

## 研究二、發球具的製作以觀察球的偏向方向

### (一) 原理與思考方向：

- 1、從訪談資料知道，要投出各式變化球，必須精準控制球的旋轉方向，爲了印證，我設計此發球具。
- 2、因棒球重達 140gw，既要旋轉又要投擲，非常困難，故以質量較輕的乒乓球代替。
- 3、利用馬達使玩具汽車輪胎高速旋轉，並在距輪胎約一個乒乓球直徑之處，設置可任意旋轉的轉軸，以管制球的前進方向，如照片（九），當以手指輕碰轉軸時，因輪胎摩擦力的作用，可使球旋轉並飛出。
- 4、爲了觀測球的偏向，我在裝置的正前方 50 cm 處，將一張複寫紙貼在白紙背面，並將白紙貼在一片玻璃上，當球水平射出，打在白紙上時，會留下痕跡，就可知道球的偏向。



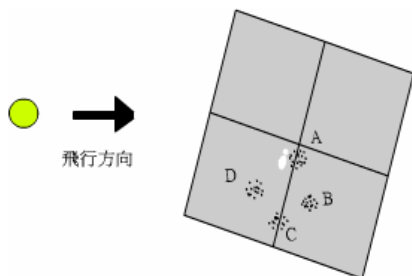
照片（九）

### (二) 步驟：

- 1、裝置如照片（九），使乒乓球分別以向左、向右、向前、向後旋轉方向射出，觀看球的偏向及球在白紙上留下痕跡。

### (三) 結果：

- 1、由觀察得知，當球向右旋轉時，球會偏右飛行，反之當球向左旋轉時，球會偏左飛行。
- 2、向前或向後旋轉，會偏下及偏上飛行。
- 3、將上述觀測結果繪成圖（二），可比較出他們之間的不同。



- A：上飄球
  - B：向右曲球
  - C：向下曲球
  - D：向左曲球
- 圖（二）



### 研究三、利用風洞測量偏向力以尋找偏向力數學關係式

(一) 原理與思考方向：投手的球速約  $100\sim 140\text{km/h}$  之間，也就是  $26\sim 39\text{m/s}$ ，我試過家用及工業用電扇，最大風速為  $12\text{m/s}$ ，也至鐵工廠借用空氣噴槍，它的風速可達到  $35\text{m/s}$ ，但因噴射面積太小而放棄，最後在三重奇倫電機行找到鼓風扇，它的速度可達到  $30\text{m/s}$ 。

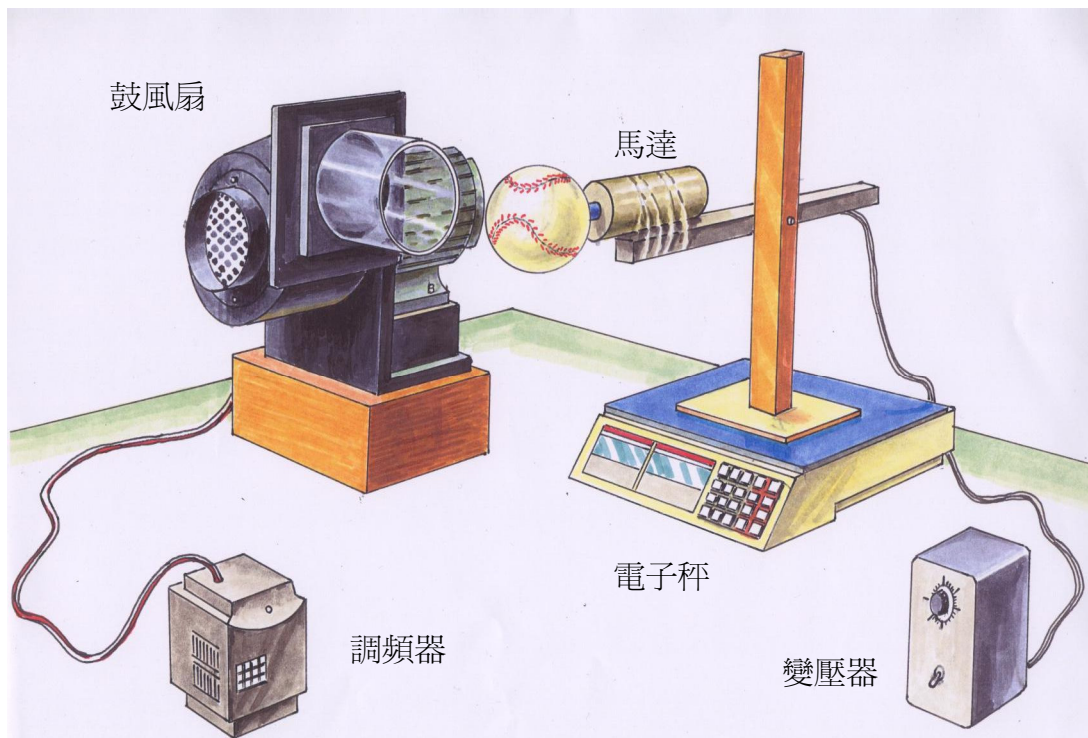


圖 (三)

#### (二) 步驟：

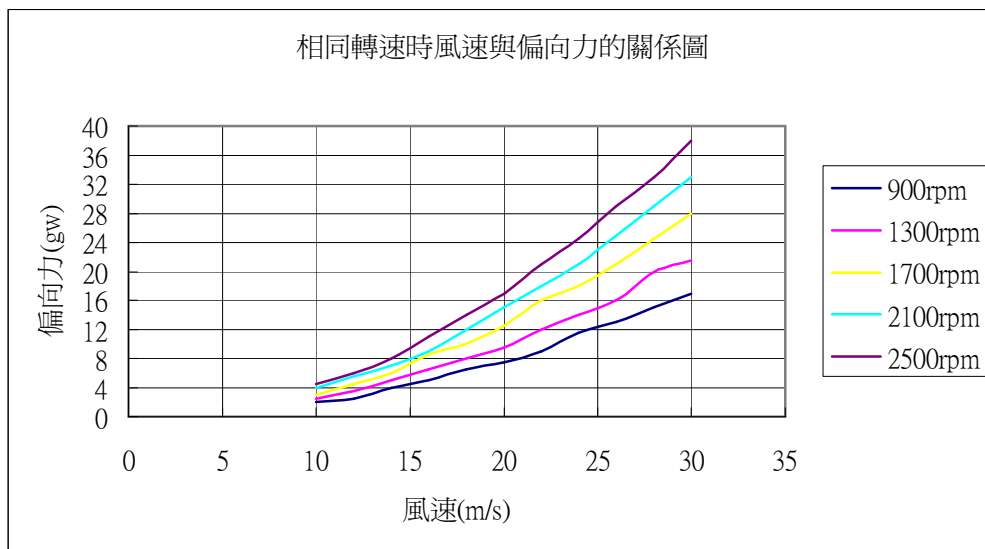
- 1、裝置如圖 (三)，將槓桿裝置於電子秤上，打開風扇，並調整出風口，使風水平吹送，此時向前旋轉的棒球，會受到向下垂直力的作用，此力的大小由電子秤可讀出。
- 2、調整鼓風扇的風速為  $10\text{m/s}$ ，棒球旋轉速度為  $900\text{rpm}$ ，測出偏向力的大小。
- 3、承 (二)，將棒球旋轉速度調整為  $1300$ 、 $1700$ 、 $2100$ 、 $2500\text{rpm}$ ，分別測出偏向力的大小。
- 4、承 1、2、3，風扇風速調整為  $12$ 、 $14$ 、 $16$ 、 $18$ 、 $20$ 、 $22$ 、 $24$ 、 $26$ 、 $28$ 、 $30\text{m/s}$ ，分別測出偏向力的大小，並將上述結果紀錄如表 (一)。
- 5、調整風扇的出風口垂直向下，此時棒球會受到一個垂直向下的風阻力，此力的大小由電子秤可讀出。
- 6、調整風速分別為  $10$ 、 $12$ 、 $14$ 、 $16$ 、 $18$ 、 $20$ 、 $22$ 、 $24$ 、 $26$ 、 $28$ 、 $30\text{m/s}$ ，分別測出風阻力的大小，結果如表 (一)。

#### (三) 結果：

風速(m/s)	轉速(rpm)					風阻
	900	1300	1700	2100	2500	
10	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	14.0
12	2.5	3.5	4.5	5.5	6.0	19.0
14	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	27.0
16	5.0	6.5	9.5	9.0	11	35.0
18	6.5	8.0	10.0	12.0	14.0	41.5
20	7.5	9.5	12.5	15.0	17.0	49.0
22	9.0	12.0	16.0	18.0	21.0	56.5
24	11.5	14.0	18.0	21.0	24.5	64.0
26	13.0	16.5	21.0	25.0	29.0	76
28	15.0	20.0	24.5	29.0	33.0	91.0
30	17.0	21.5	28.0	33.0	38.0	104.0

表（一）

- 1、由表（一）可看出，在相同旋轉速度下，風速愈快偏向力愈大，在相同風速下，旋轉速度愈快偏向力愈大，風速愈快風阻力愈大。
- 2、爲了了解它們之間的數學關係式，我將表（一）的數據，繪成關係圖形，結果如圖（四）。



圖（四）

3、由圖中的曲線可看出，偏向力和球速的關係曲線是一條拋物線。

研究四、利用電腦，歸納偏向力的數學關係式

（一）原理與思考方向：

- 1、初步判斷：由圖（四）可知，偏向力  $N$  和球速  $V$ 、旋轉速度有正向關係，因此可寫成數學關係  $N=KV^n+b$ ，因球速  $V$  及旋轉速度爲 0 時，偏向力  $N$  也爲 0，所以常數  $b$  值爲 0。

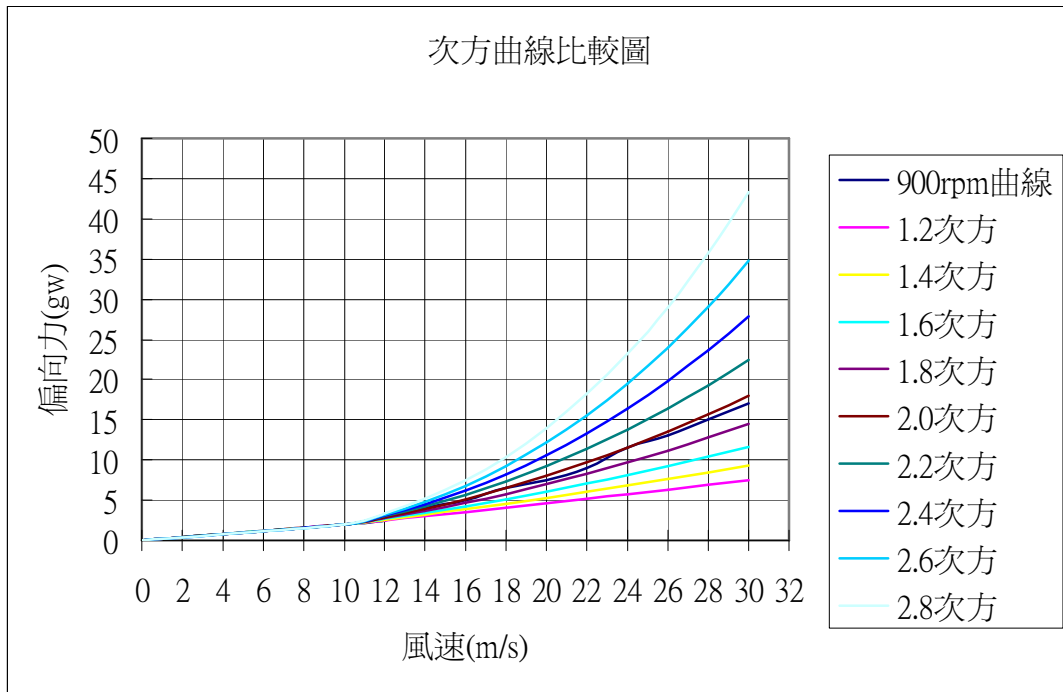


- 2、比對法確認 n 值：在 Excel 中輸入次方算式 Power (B2, n)，改變不同 n 值，可得到不同次方曲線，再和圖（四）曲線對照比較，可判斷 n 值的大小。
- 3、比對法確認 K 值：因 n 值的大小已確定，在 Excel 中輸入 K\* Power (B2, n)，調整 K 值使畫出的曲線和圖（四）曲線重疊或很接近，即可判斷 K 值的大小。

(二) 步驟：

- 1、以旋轉速度 900rpm 所得到的風速和偏向力數據，在 ExcelA2~A10 欄中，分別輸入風速的大小，在 B2~B10 欄中輸入偏向力的大小。
- 2、在 ExcelC2 欄中輸入數學運算式 C2= K\* Power (B2, 1.2)。
- 3、同 2 分別在 D2、E2、F2、G2、H2、I2、J2 欄位中改變 n 值為 1.4、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.6、2.8、3.0，並算出運算結果。
- 4、將上述結果，在 Excel 中畫出曲線，結果如圖（五）。
- 5、調整不同 k 值，使曲線和實驗值 900rpm 的曲線重疊或接近，即可得到 k (900rpm) 值。
- 6、重複 5 的步驟，可分別得到 1300、1700、2100、2500rpm 的 K 值，結果如表二。

(二) 結果：



圖（五）次方曲線比較圖

- 1、由圖（五）可知，900rpm 曲線和二次方曲線非常接近，因此可判斷，偏向力和風速的平方成正比。
- 2、由比對所得到的 K 值，再配合偏向力和風速的平方成正比的關係，可得到偏向力的數學關係式如表（三）。

旋轉速度 (rpm)	偏向力的數學關係式
900	$N = 0.02 * V^2$
1300	$N = 0.025 * V^2$
1700	$N = 0.03 * V^2$
2100	$N = 0.04 * V^2$
2500	$N = 0.045 * V^2$

表（三）

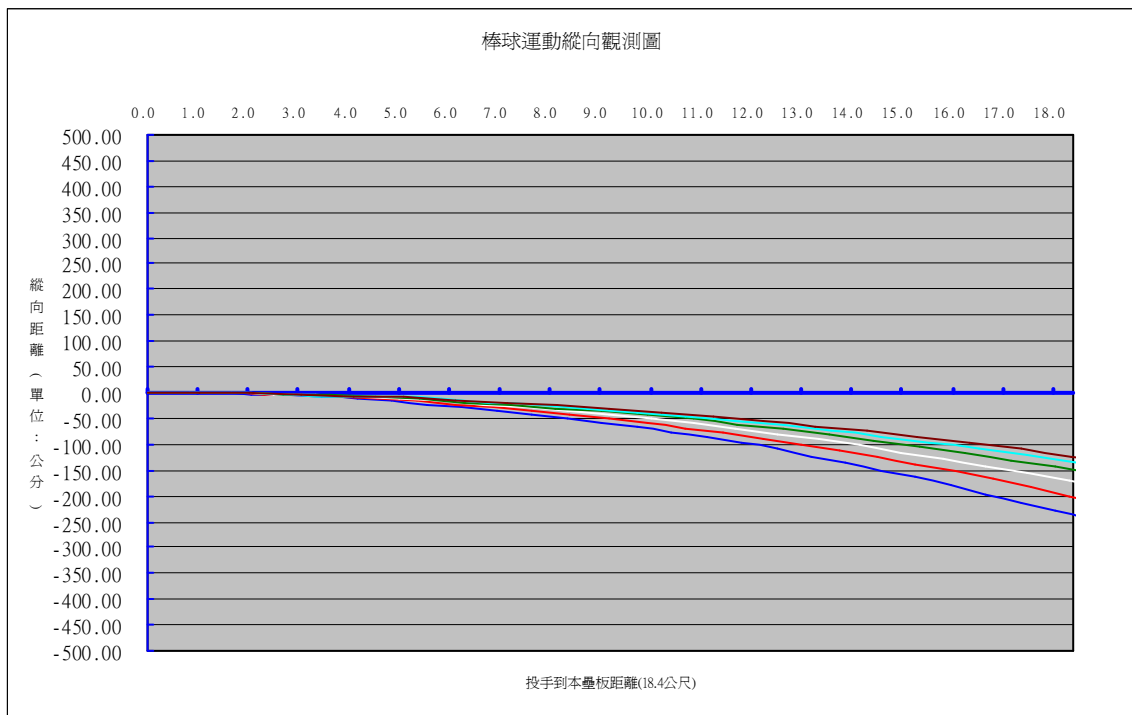
研究五、利用電腦，模擬投手的投球，以比較棒球飛行軌跡的變化

（一）、原理與思考方向：

- 1、理想：利用電腦設計如圖（六）的控制箱，輸入投球速度、投球角度、球的旋轉速度、旋轉方向，即可呈現出偏向力的大小、縱向偏向距離，及棒球的飛行軌跡的變化如圖（七）。
- 2、公式：在 Excel 中輸入拋體運動公式  $X=V_0 \cos \theta t$ ， $Y=V_0 \sin \theta t + 1/2at^2$  因風阻約 10~100gw，所產生的加速度約  $0.6\sim 7m/s^2$ ，而球的飛行時間只有約 0.5s，故可設水平為等速度飛行，而垂直方向有二力作用，分別是球重 w 及偏向力 N，所以加速度  $a=g (W+N) /W$ 。
- 3、設計及運作：在電腦 Excel 中設計三個工作列，名稱分別為飛行軌跡圖、XY 座標點、偏向力對照表。
  - (1)、飛行軌跡圖：
    - a、控制箱中的球速、投球角度、旋轉速度可用數值調整桿調整大小。
    - b、旋轉偏向力的搜尋公式：  
 $=IF(B5="上",VLOOKUP(B4,偏向力對照表!A3:B8,2,0),-(VLOOKUP(B4,偏向力對照表!A3:B8,2,0)))$
    - c、調整控制箱中的數據，飛行軌跡圖也會改變，可複製六組控制箱，當各自輸入不同數據時，可同時呈現六條不同飛行軌跡。

數據一		數值調整桿
球速(km/h)	90	
投球角度	0.0	
旋轉速度(rpm)	900	
旋轉方向	上	
旋轉偏向力(gw)	12.50	
縱向偏下距離(cm)	-289.13	0.7360

圖（六）控制箱



圖（七）飛行軌跡曲線圖

(2)、XY 軌跡點：在 Excel 中設計如下表（四）的表格。

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	球速(m/s)	25.00		角度	1.00	F 力	0.00	
2	經過時間 (s)	0.00	0.025	0.050	0.075	0.100	0.125	0.150
3	水平距離(m)	0.00	0.63	1.25	1.88	2.50	3.13	3.75
4	垂直距離(cm)	0.00	-0.31	-1.23	-2.76	-4.90	-7.66	-11.03

表（四）

- a、在 B1、E1、G1 儲存格中分別輸入下列搜尋公式，B1： $=(\text{飛行軌跡圖!B2}) * 1000 / 3600$ 、D1： $=\text{飛行軌跡圖!B3}$ 、G1： $=\text{飛行軌跡圖!B6}$ 。
- b、在 B3 儲存格中輸入拋體水平距離計算公式： $=\$B\$2 * \text{COS}(\text{RADIANS}(\$E\$2)) * B3$ ，並作列複製。
- c、在 B4 儲存格中輸入拋體垂直距離計算公式： $=(\$B\$2 * \text{SIN}(\text{RADIANS}(\$E\$2)) * B3 - 0.5 * ((140 + \$H\$2) / 140) * 9.8 * B3^2) * 100$ ，並作列的複製。
- d、以表中水平、垂直距離的數據，作成飛行軌跡曲線，並插入工具列飛行軌跡圖中。

(3)、偏向力對照表：在 Excel 中設計如下表（五）的表格。

	A	B
1	旋轉速度 (rpm)	偏向力 (gw)
2	0	0.00
3	900	12.50
4	1300	15.63
5	1700	18.75
6	2100	25.00

7	2500	28.13
---	------	-------

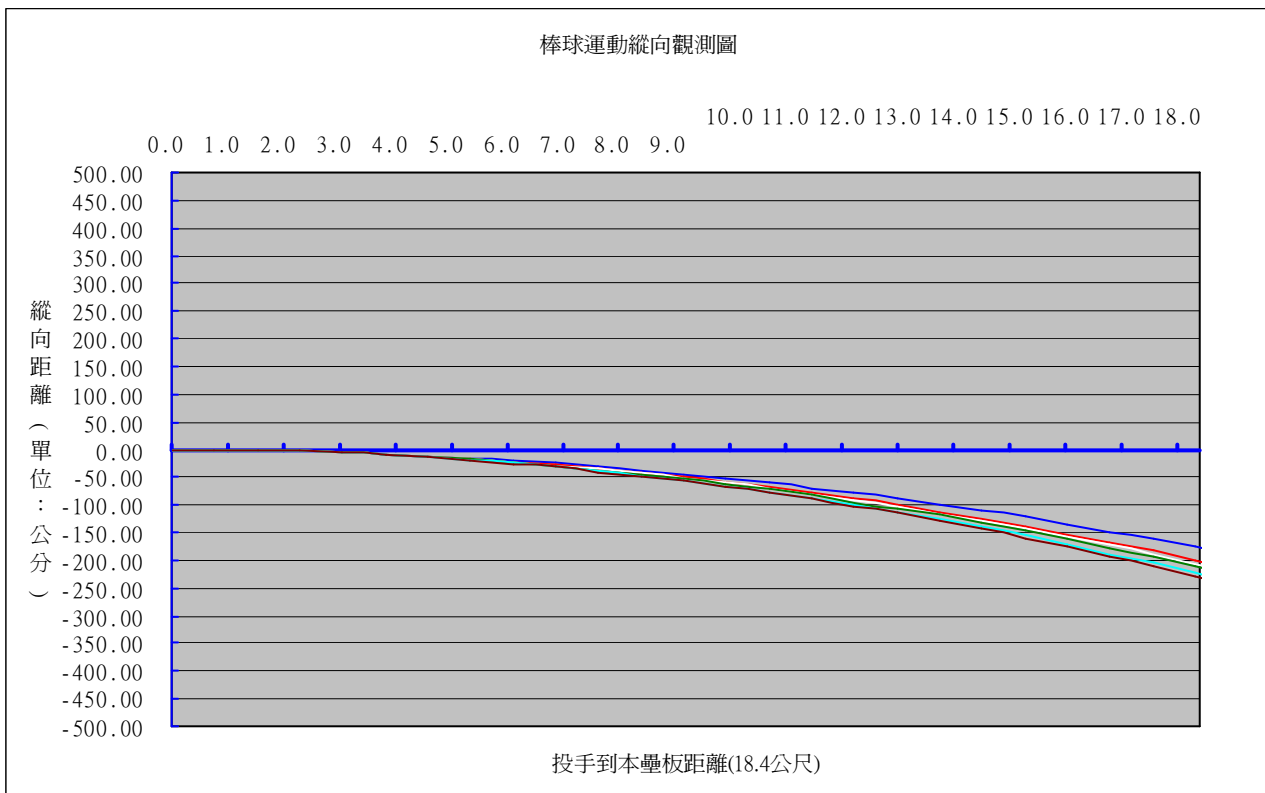
表（五）

(1) 在 B2、B3、B4、B5、B6、B7 中分別輸入表（三）偏向力公式。

(二)、步驟:

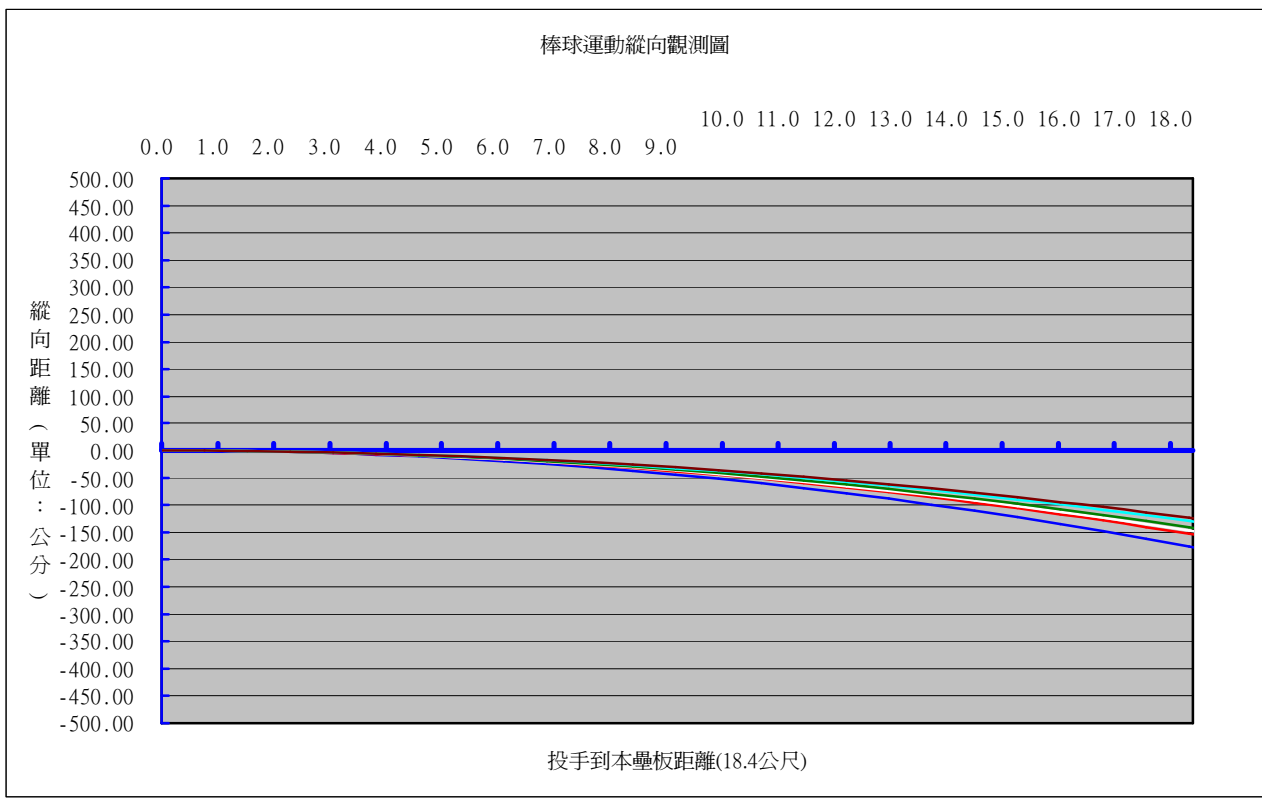
- 1、控制箱可做無數組合，僅舉下列五例說明。
- 2、輸入投球速度 130km/h，投球角度為 0 度，旋轉方向為向前，而旋轉速度分別為 0、900、1300、1700、2100、2500 rpm，比較旋轉速度對飛行軌跡的影響，結果如圖(八)。
- 3、輸入投球速度 130km/h，投球角度為 0 度，旋轉方向為向後，而旋轉速度分別為 0、900、1300、1700、2100、2500 rpm，比較旋轉速度對飛行軌跡的影響，結果如圖(九)。
- 4、輸入投球速度 130km/h，旋轉速度 900rpm，旋轉方向向前，分別輸入向上角度為 0、1、2、3、4、5 度，比較投球角度對飛行軌跡的影響。結果如圖(十)。
- 5、輸入旋轉速度 900rpm，投球角度 0 度，旋轉方向向前，分別輸入投球速度為 100、110、120、130、140、150km/h，比較投球速度對飛行軌跡影響，結果如圖(十一)。
- 6、分別輸入，投球速度 150km/h，投球角度 0 度，旋轉速度為 2500rpm 向後，投球速度 90km/h，投球角度 0 度，旋轉速度為 2500rpm 向前，比較快速直球及下墜球，結果如圖（十二）。

二、結果：



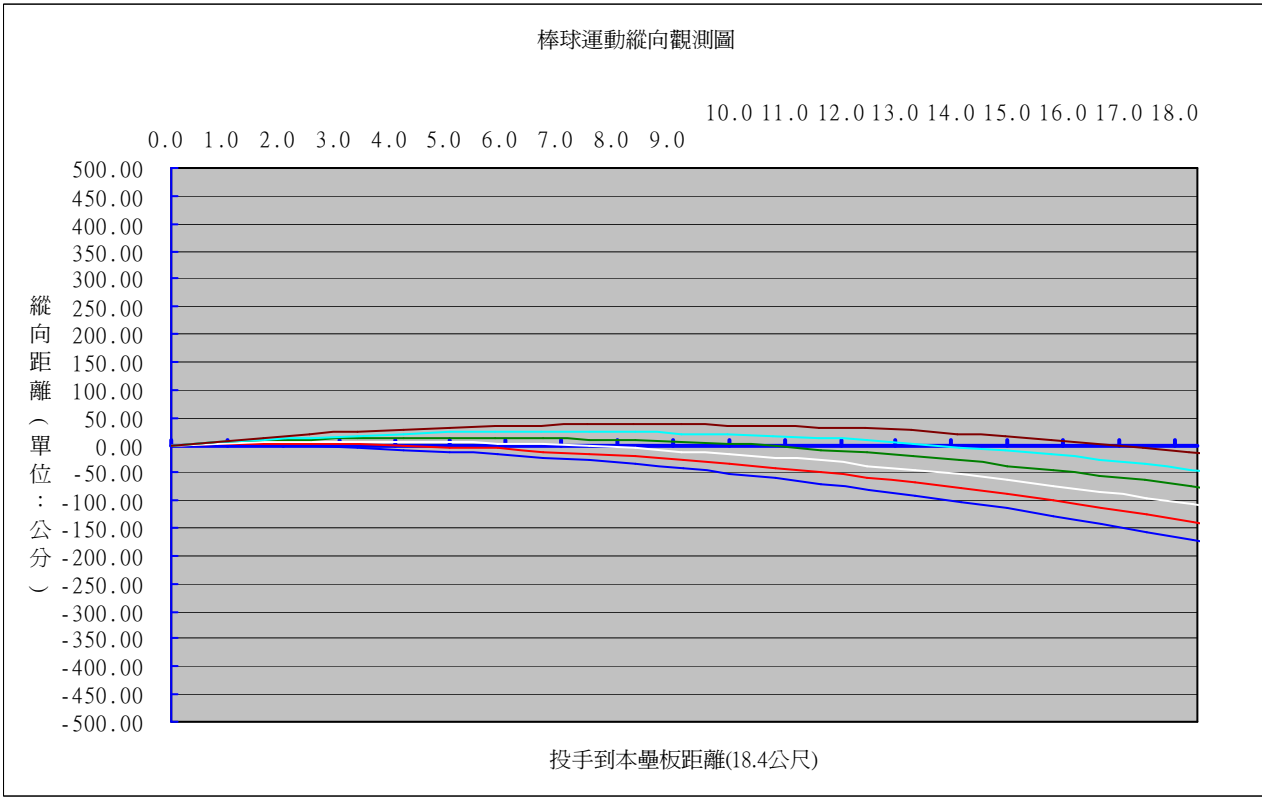
圖（八）球速 130km/h、投球角度 0 度、旋轉方向向前，不同旋轉速度對飛行軌跡的影響  
 藍：0rpm 紅：900 rpm 黃：1300 rpm 綠：1700 rpm 青：2100 rpm 咖啡：2500 rpm

1、由圖（八）可看出向前旋轉速度愈快、縱向偏向距離愈大。



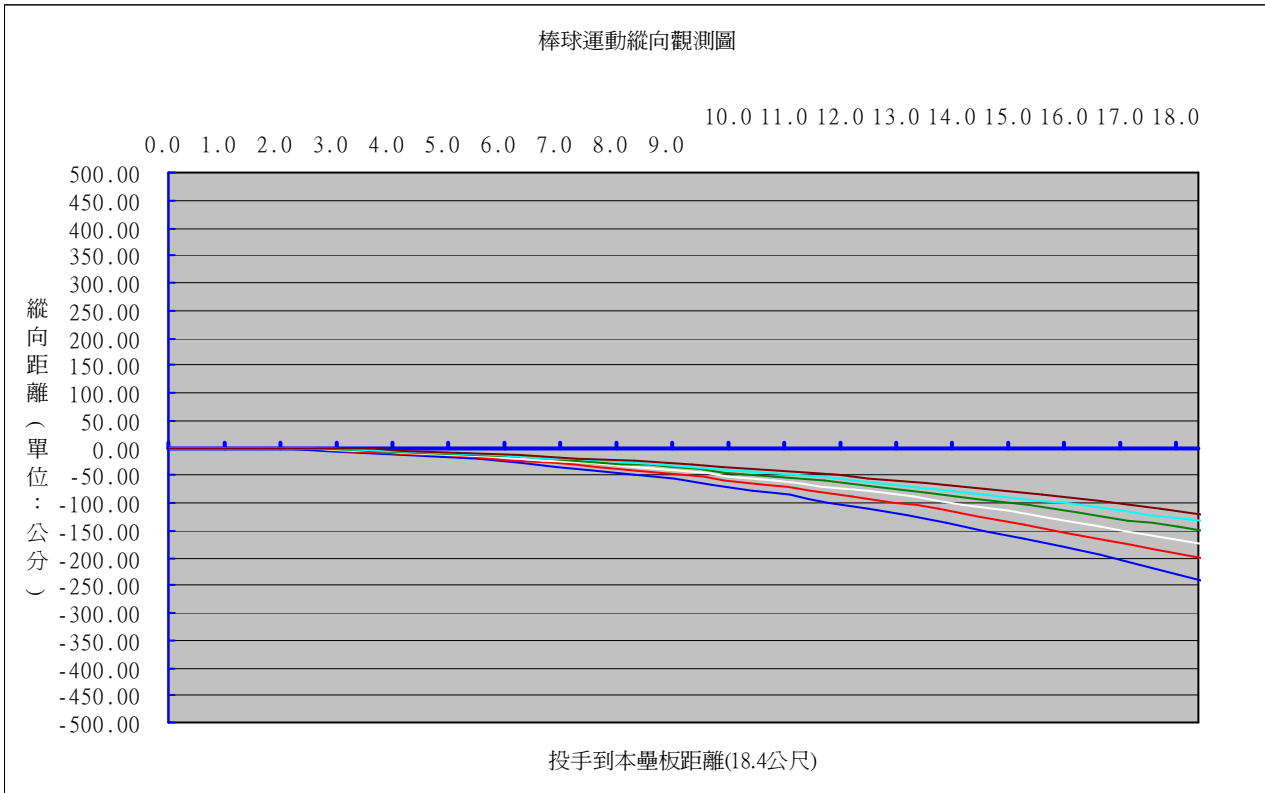
圖（九）球速 130km/h、投球角度 0 度、旋轉方向向後，不同旋轉速度對飛行軌跡的影響  
 藍：0rpm 紅：900 rpm 黃：1300 rpm 綠：1700 rpm 青：2100 rpm 咖啡：2500 rpm

2、由圖（九）可看出向後旋轉速度愈快、縱向偏向距離愈小



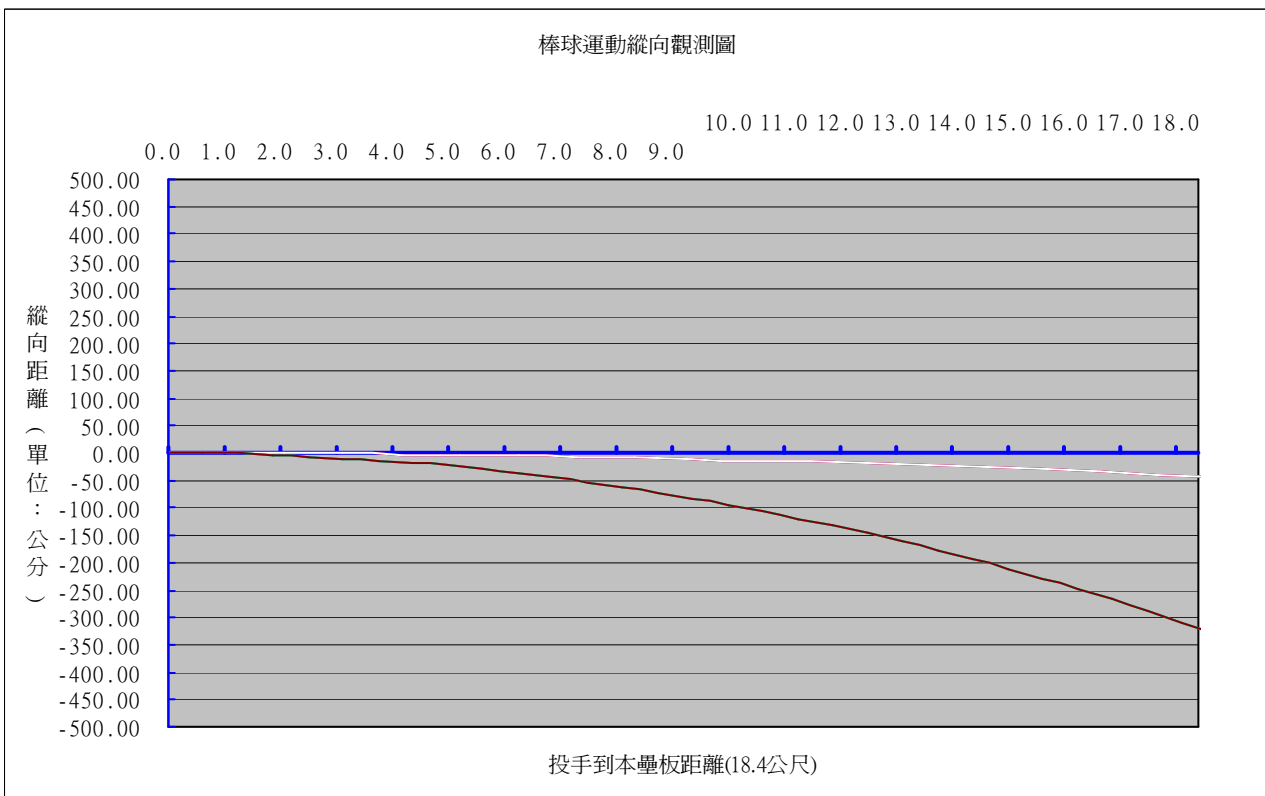
圖（十）球速 130km/h、旋轉速度 900rpm、旋轉方向向前，不同投球角度對飛行軌跡的影響，  
 藍：0度 紅：1度 黃：2 度 綠：3 度 青：4 度 咖啡：5 度

3、由圖（十）可看出向上投球角度愈大，縱向偏向距離愈小。



圖（十一）投球角度0度、旋轉速度900rpm、旋轉方向向前，不同球速對飛行軌跡的影響  
 藍：100 km/h 紅：110 km/h 黃：120 km/h 綠：130 km/h 青：140 km/h 咖啡：150 km/h

4. 由圖（十一）可看出球速愈慢，縱向偏向距離愈大，球速愈快，縱向偏向距離愈小。



圖（十二）快速直球及下墜球的比較



黃：快速直球(球速 150km/h、旋轉速度及方向 2500rpm 向後、投球角度 0 度)

咖啡：下墜球(球速 90km/h、旋轉速度及方向 2500rpm 向前、投球角度 0 度)

5、由圖（十二）可看出在球速較慢，向前旋轉速度很快，會有明顯向下曲球，而當球速快，向後旋轉速度也很快時，會接近直線飛行。

研究六、利用電腦，判斷投手所投的球，是好球或壞球

（一）原理及思考方向：

1、理想：在電腦 Excel 中設計如圖（十三）的控制箱，輸入投球速度、投球角度、球的旋轉速度、旋轉方向、投球高度及打擊手的縱向好球帶範圍，電腦即可判斷，球是否進入縱向好球帶。

2、做法：設投球高度為 H cm，投手坵的高度約為 25cm，球投出後飛行至本壘板的垂直落差為 h cm，好球帶的最低、最高位置分別 x、y cm，在電腦中設計算式，當符合  $x < H+25-h < y$  時是好球，否則是壞球。

（二）計算判斷公式：

1、縱向偏下距離(cm)：

$$=((B2*1000/3600)*\text{SIN}(\text{RADIANS}(B3))*C7-0.5*((140+B6)/140)*9.8*C7^2)*100$$

2、好球帶下界(cm)：=VLOOKUP(B11,E2:G5,2,FALSE)

3、好球帶上界(cm)：=VLOOKUP(B11,E2:G5,3,FALSE)

4、好壞球判定：=IF(((B10+25)+B7>=B12),IF(((B10+25)+B7<=B13),"好球","壞球"),"壞球")

數據		數值調整桿
球速(km/h)	90	<input type="text" value="90"/>
投球角度	0.0	<input type="text" value="0.0"/>
旋轉速度(rpm)	900	<input type="text" value="900"/>
旋轉方向	上	<input type="text" value="上"/>
旋轉偏向力(gw)	12.50	<input type="text" value="12.50"/>
縱向偏下距離(cm)	289.13	0.7360

投球高度(cm)	200	<input type="text" value="200"/>
打擊者身高(cm)	160	<input type="text" value="160"/>

好球帶下界(cm)	48	
好球帶上界(cm)	110	
<b>好壞球判定</b>	<b>壞球</b>	

圖 (十三)

一、步驟：

- 1、先請學校身高 160、170、180、190 cm的老師，作出打擊的動作，用皮尺量出膝關節高度為好球帶的最低位置，胸部高度為好球帶最高位置，結果如表（六）。
- 2、控制廂可做無數組合，僅舉二例說明，輸入投球高度 185cm、身高 180cm 打擊手的資料可判斷球進入縱向好球帶球速範圍，結果如表（七），也可判斷球進入縱向好球帶投球角度範圍，結果如表（八）

二、結果：

打擊手身高 (cm)	下界 (cm)	上界 (cm)
<b>160</b>	<b>48</b>	<b>110</b>
<b>170</b>	<b>52</b>	<b>118</b>
<b>180</b>	<b>57</b>	<b>126</b>
<b>190</b>	<b>62</b>	<b>132</b>

表 (六)

旋轉速度 (rpm)	旋轉方向	仰角或俯角	投球角度 (度)	投進好球帶球速 (km/h) 範圍
900	上旋	仰角	0	127~160
			1	114~148
			2	105~128
			3	97~115
			4	91~105
			5	86~97
		俯角	6	82~91
			1	146~160
			2	*
			3	*
	下旋	仰角	4	*
			5	*
0			109~138	
1			101~121	

			2	94~110
			3	89~101
			4	84~94
			5	80~88
			6	77~84
		俯角	1	120~160
			2	136~160
			3	159~160
			4	*
			5	*

表（七）

※表（七）中“\*”表示在球速 75~160km/h 範圍時球都無法進入打擊者的好球帶。

旋轉速度 (rpm)	旋轉方向	投球速度 (km/h)	投進好球帶投球角度範圍
900	下旋	110	-0.4~1.7
		120	-1.3~0.8
		130	-2.0~0.1
		140	-2.6~-0.4
		150	-2.9~-0.9
		160	-3.3~-1.3

表（八）

※表（八）中負的度數表示俯角

## 陸、討論：

一、飛行又旋轉的棒球會有偏向力的作用，是因空氣流經旋轉棒球表面上下或左右流速不同產生的，以下是說明。

（一）、如圖（十四），當球以向前速度  $u$  (rpm) 旋轉、向右飛行速度  $v$  (m/s) 時，則粗糙球面因旋轉而帶動周圍空氣流動，設速度為  $x$  (m/s)，則空氣流經上半部球面的相對速度  $|v-x|$  (m/s)，而下半部的相對速度為  $(v+x)$  m/s，因空氣上下球面流速不同，由白努力原理知，空氣對球會有向下偏向力作用。

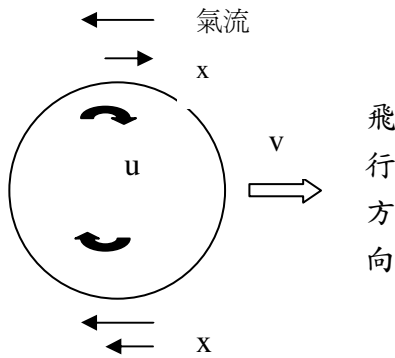


圖 (十四)

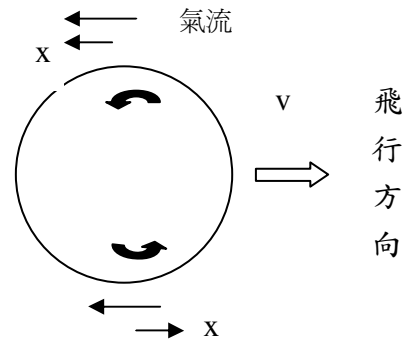


圖 (十五)

(二)、如圖 (十五)，當球向後旋轉速度  $u$  (m/s)、向右飛行速度  $v$  (m/s) 時，則粗糙球面因旋轉而帶動周圍空氣流動，設速度為  $x$  (m/s)，則空氣流經下半部球面的速度  $|v-x|$  m/s，而上半部速度為  $(v+x)$  m/s，由伯努力原理知，會有向上偏向力作用。

二、歸納偏向力數學關係式的過程有下列四項

- (一)、初步觀測：固定棒球旋轉速度，微調鼓風扇的調頻器，使風速緩慢增加，可觀測到偏向力也緩慢增加，因此可確認偏向力和風速有正向關係，固定風速，改變棒球旋轉速度，也有類似關係。
- (二)、倍數粗估：將風速以 10、20、30m/s 倍數增加，可看出偏向力和風速平方成正比。
- (三)、微調確認：將風速以 2m/s 微幅增加，得到更多數據，再以關係曲線確認。
- (四)、反覆實驗：因棒球快速旋轉所產生的震動及強大的風速衝擊下，些微的改變都會影響結果，因此必須反覆實驗，而表 (一) 是經過無數次實驗之後，累積很多數據的結果。

三、利用電腦呈現飛行軌跡及好壞球判斷過程：

架構想法→參閱書籍→試寫公式→電腦運作→反覆修正，共完成 10 組電腦運算公式，用此 10 組公式可架構完整運作功能。

四、影響球是否進入好球帶的變因如下：

- (一)、重力：它會使球偏下飛行。
- (二)、球速：球速愈快，飛行時間愈短，因此重力影響時間較短，所以球偏下飛行較少。
- (三)、旋轉方向：球向前旋轉，因為向下偏向力作用會使球偏下飛行，球向後旋轉，因為上拉力的作用會使球偏下飛行較少。
- (四)、投球角度：向下角度愈大，球偏下飛行愈多。
- (五)、投手投球高度及打擊手的好球帶範圍。

五、電子秤數字的不穩定跳動，是個困擾，因此除了改用最小刻度單位為 0.5g 的電子秤，下列三項也是我力求改善之道。

- (一)、重達 140g 的棒球，以約 2000rpm 高速旋轉，因此棒球的轉動軸必須非常精準。
- (二)、鼓風扇的風速高達 30m/s，因此氣流穩定水平流動是必要的，所以我在鼓風扇的出風口，加上水平橫柵，以避免產生不穩定氣流。
- (三)、馬達在特定轉速時，會和槓桿裝置產生共振，是個困擾，因此只能避開那些轉速。

六、影響棒球飛行軌跡的變因，除了重力是定值之外，其餘該是錯綜複雜，以下三項是目前暫時無法探討的。

(一)、空氣阻力影響：空氣阻力的大小，會隨球速而改變，如何改變，則待研究。

(二)、旋轉速度的影響：棒球投出後，因風阻作用，旋轉速度會如何改變，是我無法測量的，因此我假設它是一個定值，這點留待給以後研究。

(三)、拋體運動的影響：棒球飛行軌跡是一條拋物線，所以飛行過程的偏向力，並非維持在鉛垂方向，而風阻也不是維持在水平方向，投球角度雖小，但該有影響的。

## 柒、結論：

一、向前旋轉的棒球，會受到向下偏向力的作用。

二、向後旋轉的棒球，會受到向上偏向力的作用。

三、我所製作的掌上型發球具，因重量只有 210 g，球的偏向又明顯，是用來說明如何投出變化球的好教具。

四、用電腦呈現飛行軌跡的變化及好壞球的判斷，操作方便也很實用；至於設計原理及公式，則利用學校所學電腦知識及參閱 Excel 書籍。

五、利用鼓風扇、電子秤、槓桿裝置，可測出偏向力的大小。

六、偏向力大小和風速平方成正比。

七、相同球速時，球的旋轉速度愈快，偏向力愈大。

八、風阻力會隨球速的增快而增加。

九、在相同投球角度、旋轉方向、旋轉速度時，球速愈快，則棒球飛至本壘板的縱向落差愈小，球速愈慢落差愈大。

十、在相同投球角度、旋轉方向、投球速度時，向前旋轉速度愈快，則棒球飛至本壘板的縱向落差愈大，旋轉愈慢，落差愈小。

十一、在相同投球角度、旋轉方向，投球速度時，向後旋轉速度愈快，則棒球飛至本壘板的縱向落差愈小、旋轉速度愈慢、落差愈大。

十二、在相同投球速度、旋轉速度、旋轉方向，向上投球角度愈大，則棒球飛至本壘板的縱向落差愈小，角度愈小時、落差愈大。

十三、當投手投出慢速球，再配合快速向前旋轉時，會產生下墜球的變化。

十四、當投手投出快速球，再配合快速向後旋轉時，會產生快速直球或上飄球。

## 八、願景

共花二年時間，完成四個夢想：一是了解變化球和旋轉方向的關係，二是製作了掌上型發球具，三是歸納了偏向力的數學關係式，四是利用電腦模擬投手的投球及好壞球的判斷，但我也清楚知道所分析的資料及數據，都是在理想的況下所得到的，往後我會把所有變因都考慮進去，將投手所投出各種球路，以力學分析，以電腦動畫呈現出來。

## 九、參考資料

- (一)、作者：林明瑞 書名：物質科學物理篇上冊 版次：初版 出版地：台南市 出版社：南一書局 頁數：59~69 頁 出版年：89 年 8 月
- (二)、作者：吳權威、王敘溢 書名：Excel2000 實務 版次：初版 出版地：台北市 出版社：松崗電腦圖書資料股份有限公司 頁數：第四章 出版年：1999 年 7 月



## 評語

030107 國中組物理科 最佳創意獎

好球或壞球？-棒球飛行軌跡的分析

能以簡易裝置製作掌上型發球具，並善用鼓風扇模擬風洞，  
以電子磅秤測量偏向力，精緻、巧妙具創意。