

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

第三名

032902

觸而及「發」-自製不插電桌球發球機治具之成效探討

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國一 廖沛蓉 國一 鍾昀珊 國一 林盈萱	指導老師： 蔡名峯 張亞敬
---	-----------------------------

關鍵詞：桌球、發球機、治具

摘要

本組以環保題材設計雙輪桌球發球機。第一代純手工發球機至利用 3D 及雷切機輔助，製作出五代發球機，設計過程我們發現桌球質量很輕，3V 玩具馬達即可帶動並調整發射管角度可射出各位置的球，實驗中我們發現，發射輪間距以 35-37mm 最佳、輪上套橡皮筋以 10mm 寬堆疊 2-3 條最佳，此外左右輪要獨立馬達配合可變電阻可發出旋轉球。利用電流大小(切換電池或變壓器)可模擬不同速球及殺球的速度，而送球轉盤設計成一個洞，配合 100 Ω 可變電阻可控制 1:90TT 馬達，達合適的送球速度，送球轉盤與底座距離以球半徑最佳，不會卡球。最後此機元件當成治具可利用紙板及環保材質替代，作出發球機節省很多時間且準確，適合桌球愛好者使用。

壹、研究動機

本組在學校上生活科技課時，由於課程太過於乏味，我們向老師抱怨，生技老師跟我們介紹學校去年剛從教育部補助經費購買雷切機及 3D 列印機，老師向我們建議利用新興科技可以讓自己的夢想成真，製作或設計出實用且美觀的成品，若能推廣在教學或輔助治具，讓教學、生活、夢想合而為一，那往後的課程不再乏味會充滿趣味且實用。

老師的話深植我心，再加上對桌球的熱愛，以及市面上的產品大多提倡環保，因此本組決定自製一臺環保的桌球發球機，但是本組對環保的定義不太理解，所以本組去詢問了一些對環保有與老師的意見後，決定利用實驗後的成品製作治具，再對於治具加以深討。並將治具推廣於生活科技課的課程中，不但能豐富課程的內容、對治具的了解，還能使每位桌球愛好者能簡單的利用回收廢棄物來製作一臺桌球發球機。

貳、研究目的

- 一、探討摩擦力對桌球射程的影響
 - (一) 測試不同摩擦力材質綑綁於瓶蓋邊緣對射程的影響
 - (二) 探討橡皮筋數目對發射距離的影響
 - (三) 探討橡皮筋厚度對發射距離的影響
- 二、探討利用相同電壓電流控制發射管的角度至桌 4-9 位置
- 三、探討發射輪的輪徑大小與桌球發射距離的關係
 - (一) 探討發射輪間距與發球機射程的關聯性。
 - (二) 比較三種輪徑對發球距離的影響
- 四、探討如何利用桌球發球機發出旋轉球
 - (一) 利用發射輪馬達轉速不同
 - (二) 利用左右輪徑不同（馬達轉速相同的情況下）
 - (三) 在發射口放置球拍摩擦使其旋轉
 - (四) 利用槍管榫孔原理
- 五、探討電流大小與射出球速的關係
- 六、進球轉盤的設計與進球速度的控制
- 七、設計一套桌球發球機的治具於生活科技課中推廣

參、研究設備與器材

一、材料與設備

(一) 傳動相關機構

				
玩具馬達 3V	TT馬達 1:48	TT馬達 1:90	可變電阻 100 歐 姆	12V 馬達

(二) 記錄及量測儀器

				
一般攝影機 X2	高速攝影機-1	數位相機	捲尺	傾角儀
				
游標卡尺	光電計時器	高速攝影機-2	接線端子	

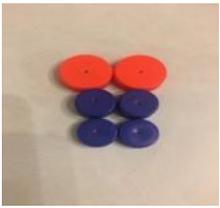
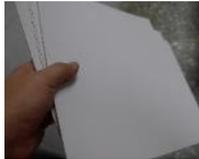
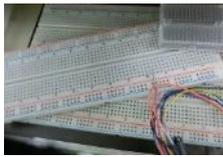
(三) 供電儀器相關材料

				
3 號乾電池	電池座	9V 電池	3 號充電電池	電源供應器

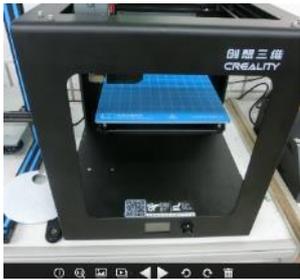
(四) 導管及磨擦材料

				
水管及轉接頭	#8 橡皮筋	#14 橡皮筋	No14 寬度 10mm	No.10 寬度 10mm
				
桌球拍面	桌球拍	乒乓球 40mm	巧拼(背面)	瓦楞紙紙

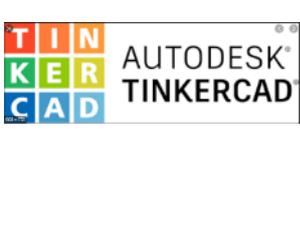
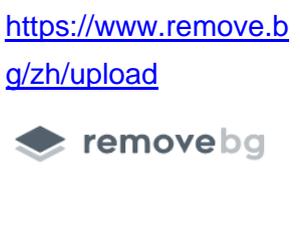
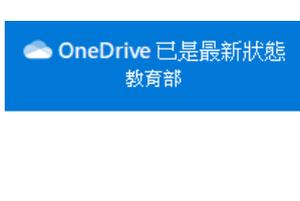
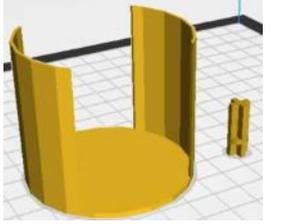
(五) 其它材料

				
瓶蓋	面紙捲筒	炸雞桶	西卡紙	手轉螺絲
				
鋁線	輕黏土	電烙鐵	大小寶特瓶	棉線
				
手機自拍棒	麵包板	泡棉	JST 對插線 2P 連接線	虎鉗

二、加工機器

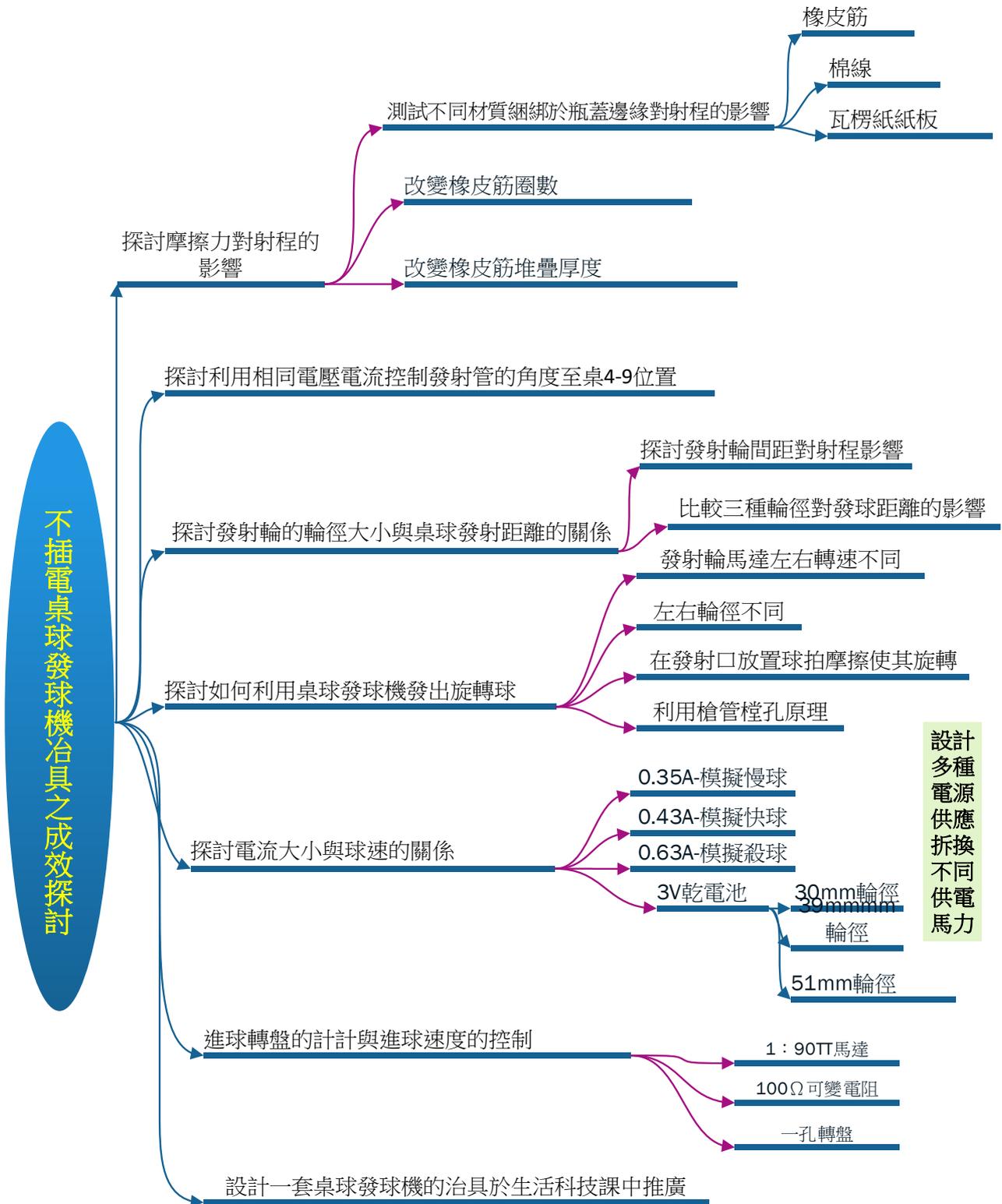
			
雷切機 SU II-9060-80W	3D 列印機 CR2020	線鋸機	電鑽及電動起子

三、實驗相關軟體說明

			
Onshape 線上版設計圖繪製軟體(雷切及 3D 圖繪製使用)	PicPick 5.0.6.0 免安裝中文版圖工具	Tinkercad 3D 繪製軟體	https://www.remove.bg/zh/upload
			
google docs 利用共同編輯方式來撰寫實驗日誌	示意圖製作及流程圖製作	影片剪輯軟體會聲會影	利用 ONE Drive 共同編輯作品說明書
			
RDWork 雷切軟體	creality slicer 1.2.3 3D 列印切片軟體	量角器 APP	

肆、研究過程或方法

一、作品架構圖



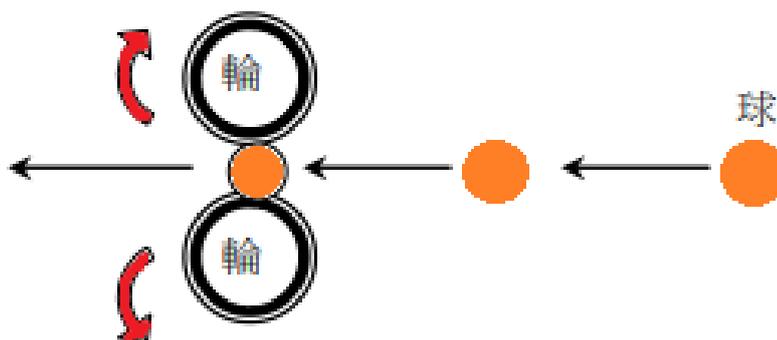
二、名詞解釋與原理說明

(一) 何謂治具 (fixture)：治具簡單來說是在工作時、能節省時間為工件量身訂做輔助工具，治具與模具不同。而在生產過程中，治具可以輔助讓工件物精準定位，不須重覆校正，能縮短工作時不必要的時間。治具在生活科技課中主要可節省學生製作設計時間。

(二) 發球機的發射原理：

本組所製作的發球機利用兩個纏繞在瓶蓋邊緣的物品的瓶蓋且運用摩擦力將桌球擠壓射出，讓桌球順利發射。而我們主要研究的是兩個蓋子的間距、馬達以及纏繞在瓶蓋邊緣的物品材質對發球機的影響。我們以兩個馬達帶動兩個瓶蓋，使桌球通過兩個瓶蓋間加速。經多次實驗，另外，原本使用的是瓶蓋本體，但加速效果不好，甚至有時球沒有射出去，反而還卡在發射出口。我們猜想也許是瓶蓋邊緣因為轉速太快而無法運用到摩擦力且桌球表面太過光滑，質量也太輕，於是本組想出了一個辦法增加瓶蓋與桌球之間的摩擦力，於是我們使用不同材質的物品纏繞在瓶蓋邊緣上，果然加速效果好很多且桌球發射的出去。

(一) 根據我們上網蒐集資料的結果，市面上常見的桌球發球機可分為下列兩類：1. 雙輪式發球機：滾輪式發球機是利用輪子的摩擦力來發球。如下圖所示，兩個輪子高速旋轉且旋轉方向相互相反的輪子，輪子之間的空間略小於球的直徑，當球從滑軌滾入兩輪之間的時候，藉由輪子和球的摩擦力將球快速發射出去。



▲ 圖 4 雙輪式發球機發射示意圖

2. 氣壓式發球機：利用空氣壓縮機產生的氣壓，儲存在集氣鋼瓶內，當球掉入送球管時，再釋放鋼瓶內空氣，以空氣壓力將球彈出。

因為預算以及所需材料較易取得，經過本組衡量後，決定採用雙輪式作法。

(二) 由上述資料中，我們歸納出發球機必須包含以下部分：

- 1.發球部分：如圖二所示。
- 2.集球部分：一空間將多顆球集中，準備經由特定軌道將球發出。(請參考圖 5)
- 3.控制出球：控制每顆球從集球部分進入軌道準備發球的時間。

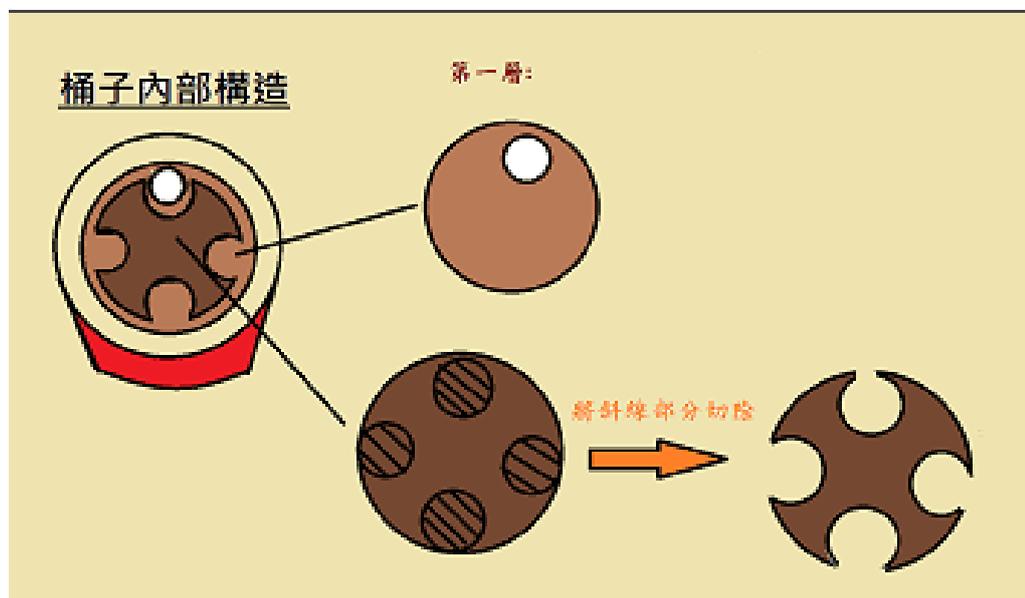
(三) 製作集球

- 1.集球容器的選擇：我們利用家中待回收的圓型塑膠桶來當集球的容器，但是在製作時發現塑膠桶太重，於是本組將塑膠圓桶改為圓形炸雞紙桶。

- 2.避免卡球的集球部分：

(1)嘗試一：轉盤法

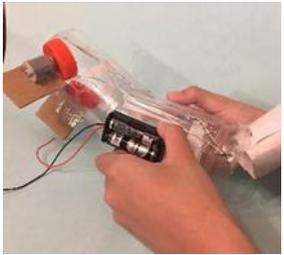
用紙板做一圓盤，在上面挖出可以卡住桌球的四個圓洞（類似像電風扇的風扇），將此紙板裝卡馬達軸心上，當馬達通電時時，帶動旋轉盤，卡在圓洞上的球對到集球容器底部的洞，經由連接在炸雞桶下的衛生紙捲筒，便可順利滾到發射出口。



▲ 圖 5:集球處內部示意圖

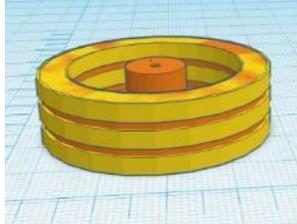
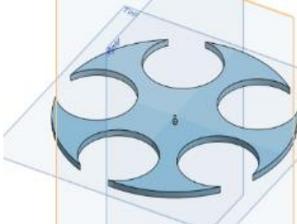
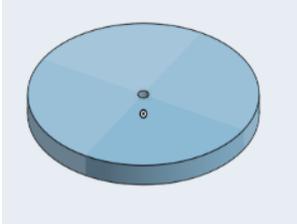
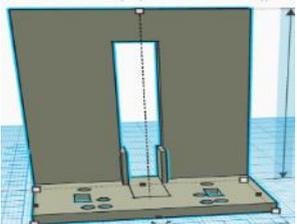
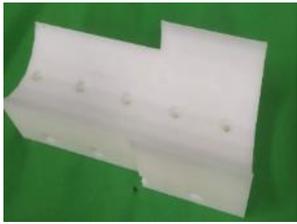
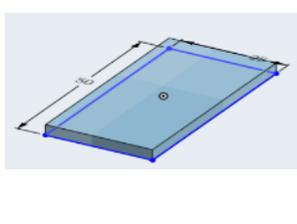
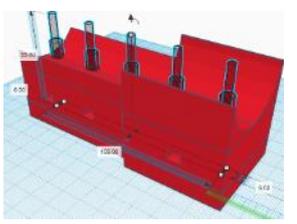
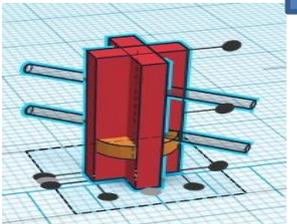
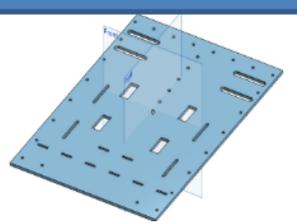
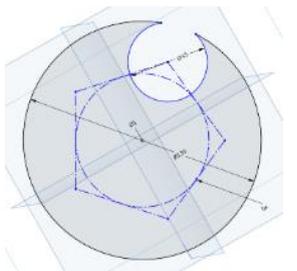
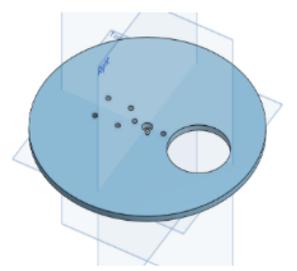
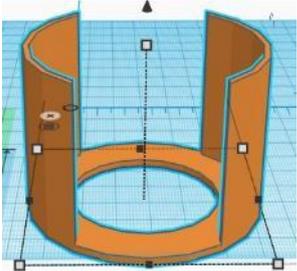
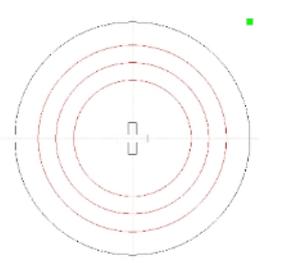
三、研究過程及方法

(一)第一代原型機製作流程

			
<p>將衛生紙筒的輪廓描在炸機桶底部。</p>	<p>將前步驟所畫的衛生紙桶輪廓切除。</p>	<p>將紙板黏裝於炸雞桶底部。</p>	<p>將電池座黏貼在炸機桶底部。</p>
			
<p>經由馬達底座固定於炸機筒底部內側。</p>	<p>將兩瓶寶特瓶分別切成三等份。</p>	<p>將另一個無挖洞寶特瓶瓶身用鋁線連接前步驟的寶特瓶瓶身。</p>	<p>在紙板上依序剪下小紙板並黏在瓶蓋內側挖洞。</p>
			
<p>兩個馬達與兩個電池座的電線連接，使馬達轉動。</p>	<p>加裝上紙板以固定發球機的發射出口。</p>	<p>組裝於炸雞桶底部。</p>	<p>組合後加入支撐架第一代原型機完成</p>

(二) 利用 3D 列印及雷射切割軟體製作相關零件

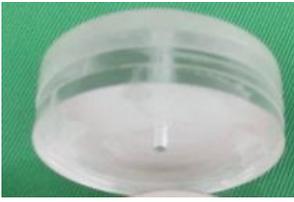
1 設計圖與成品對照圖

繪製發射輪	繪製發射輪五孔	進球轉盤上方轉環	L 型馬達底座
			
			
雷射機切割管洞	3D 繪製發射管底座	3D 繪製馬達套筒	主體底座
			
			
繪製發射輪 1 孔	送球轉盤底座	出球口冶具	冶具發射輪中心描繪
			
			

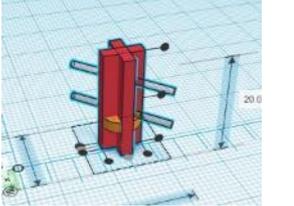
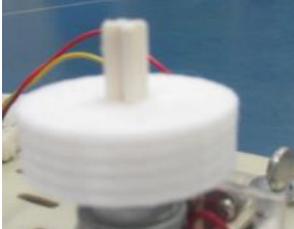
利用點名板即可切割

2 設計改良過程說明

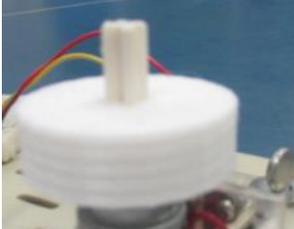
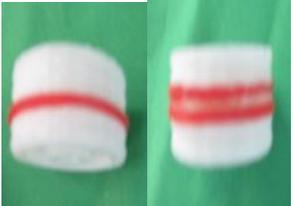
(1) 發射輪修改過程

瓶蓋發射輪	四片雷切輪結合	單片雷切輪配合蓋子	D 列印凹痕輪
			
1 軸心空轉 2 橡皮筋高速運轉下會鬆脫 3 瓶蓋和軸心中一點接觸會有偏軸及偏心情形 4 橡皮筋無法整齊套好	1 軸心空轉 2 橡皮筋高速運轉下會鬆脫 3 四片壓克力輪太重馬達轉速降低	1 軸心空轉 2 橡皮筋高速運轉下會鬆脫 3 塞進去後不易取出 4 必須設計許多雷切片來符合不同大小的瓶蓋	1 軸心空轉

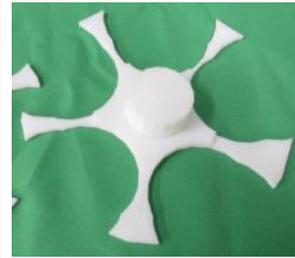
(2) 馬達十字軸心設計(改善馬達軸心空轉之現象)

			
中間設定十字定位	設計配合馬達十字軸 設計 插梢孔	平穩可立即更換輪子	凹痕可固定橡皮筋

(3) 凹槽發射輪套橡皮圈的改良方法 (橡皮筋在馬達高速運轉會鬆脫)

			
輪子中間有五道凹痕	橡皮筋套 1-2 圈的方法	橡皮筋套 4 圈的方法	橡皮筋 10mm 寬

(4) 進球轉盤設計過程 (修改過程)

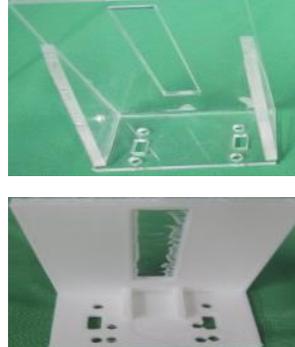
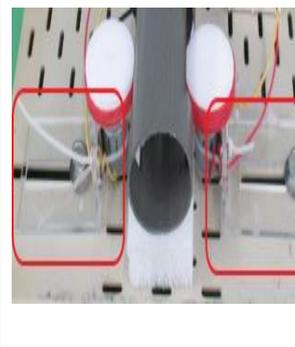
			
瓶蓋送球轉盤	切下濾水桶	3D 列印(不太會製圖，修正後也不佳)	

最終成品說明

			
雷射再粘合	3D 列印直接輸出	中間設計方形孔讓 TT 馬達置入	改成一孔減慢送球速度

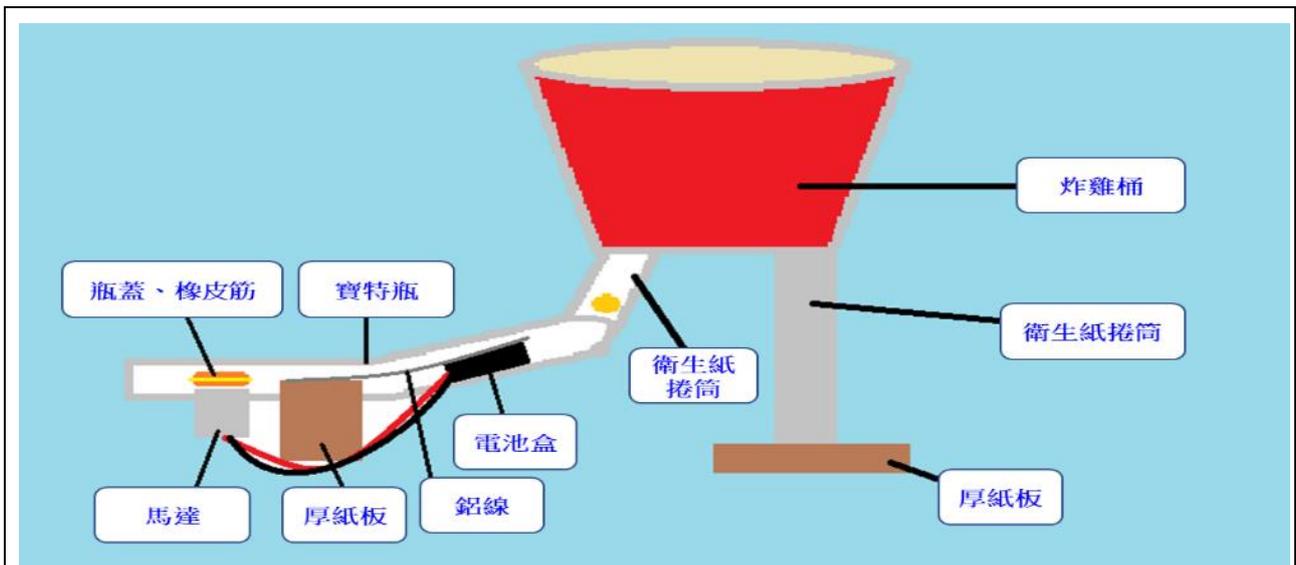
(5) 設計可調整間距的發射輪

修改過程

			
紙板固定 不堅固且誤差大	木頭與角鐵固定 無法活動	雷射壓克力粘合 3D 列印一體成型	手轉螺絲固定間距

四、自製發球機成品與示意圖

(一)第一代環保發球機



原圖（去背後）

說明：

1. 全部利用廢棄物製作
2. 結構較不穩固發出去的球距離時長時短
3. 發射輪橡皮筋易掉落
4. 進球轉盤易卡球
5. 進球馬達轉速太快
6. 發射輪用蓋子會不平衡
7. 轉盤時轉時，時而不行

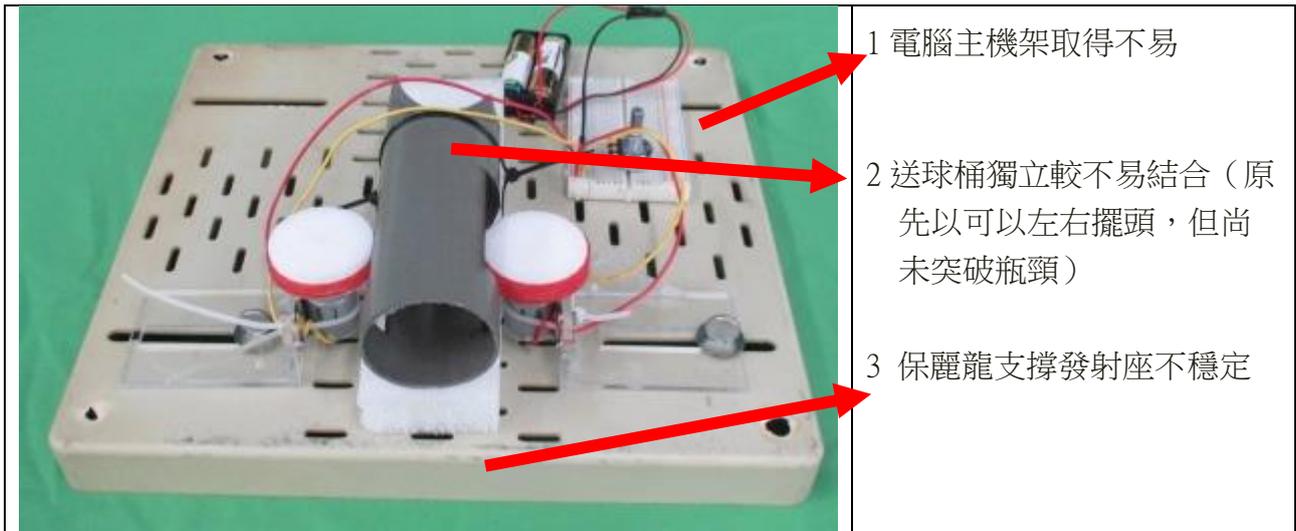
(二)第二代環保發球機-加強結構



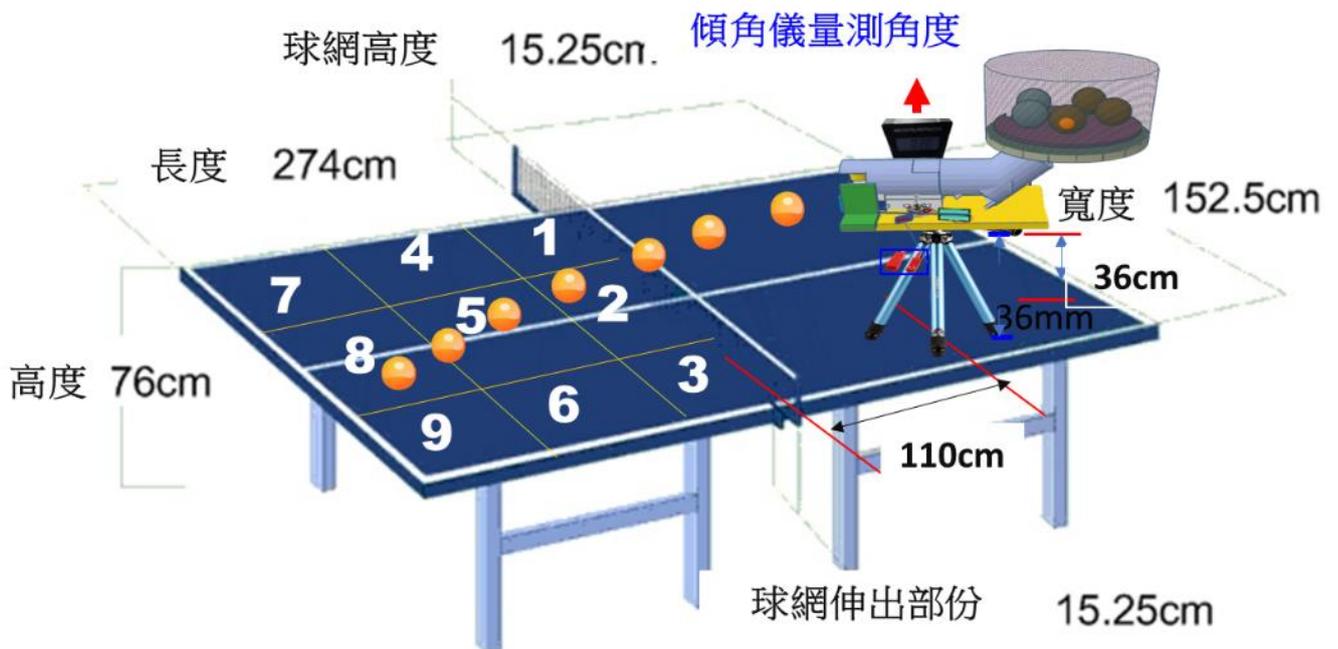
第二代水管發球機:改良設計說明：

- 1、利用水管當發導管可加強球輸送過程的穩定性。
- 2、利用 1：48 的 TT 馬達取代傳統玩具馬達改善進球太快的缺點以及較有定性。
- 3、利用廢棄課桌椅木板加強結構穩定性。
- 4、利用雷切機切出進球機轉盤改善進原先會卡球的情形。

第三代水管發球機:改良設計說明：



(一) 實驗過程

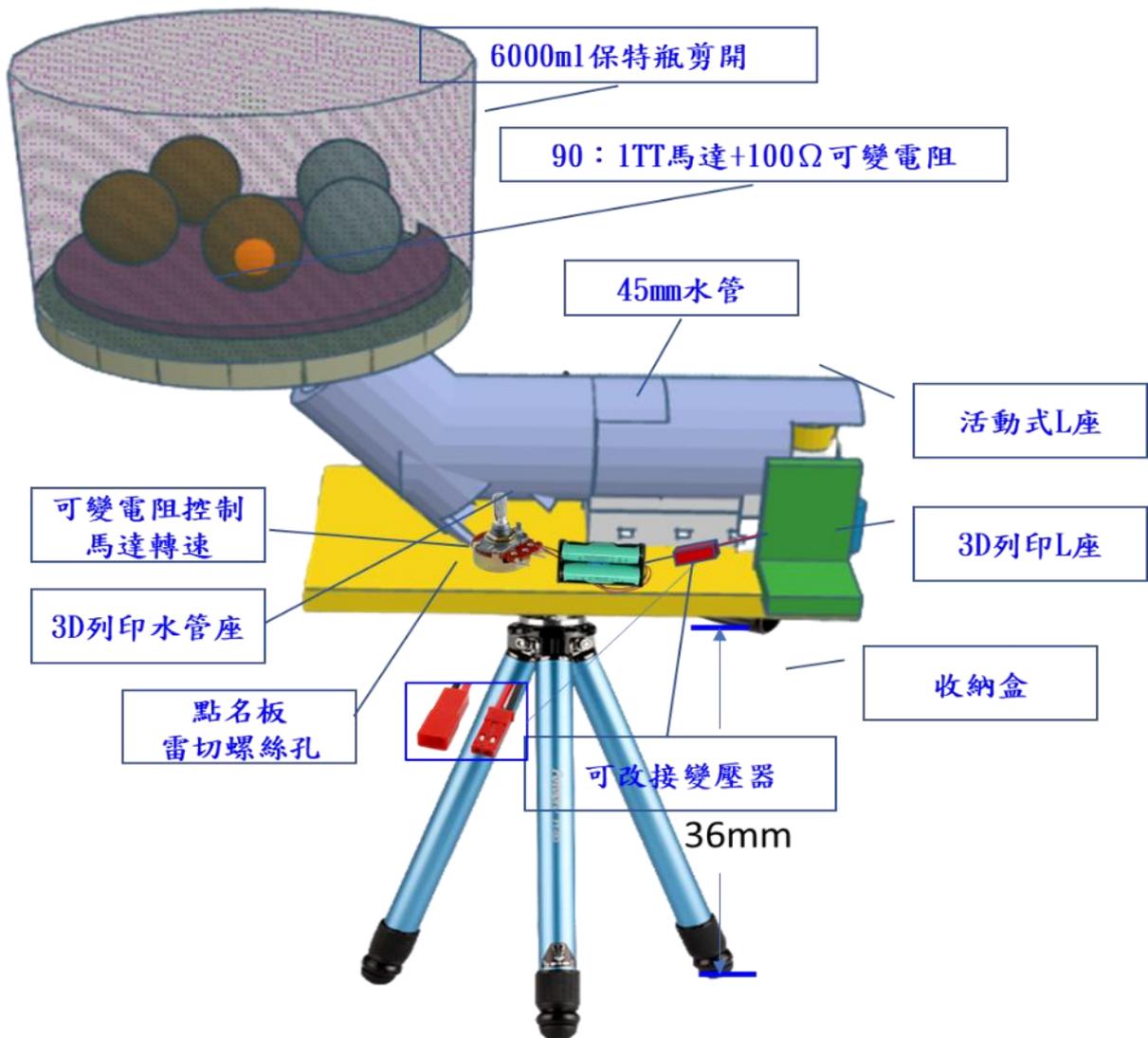




將桌球桌區分成9格

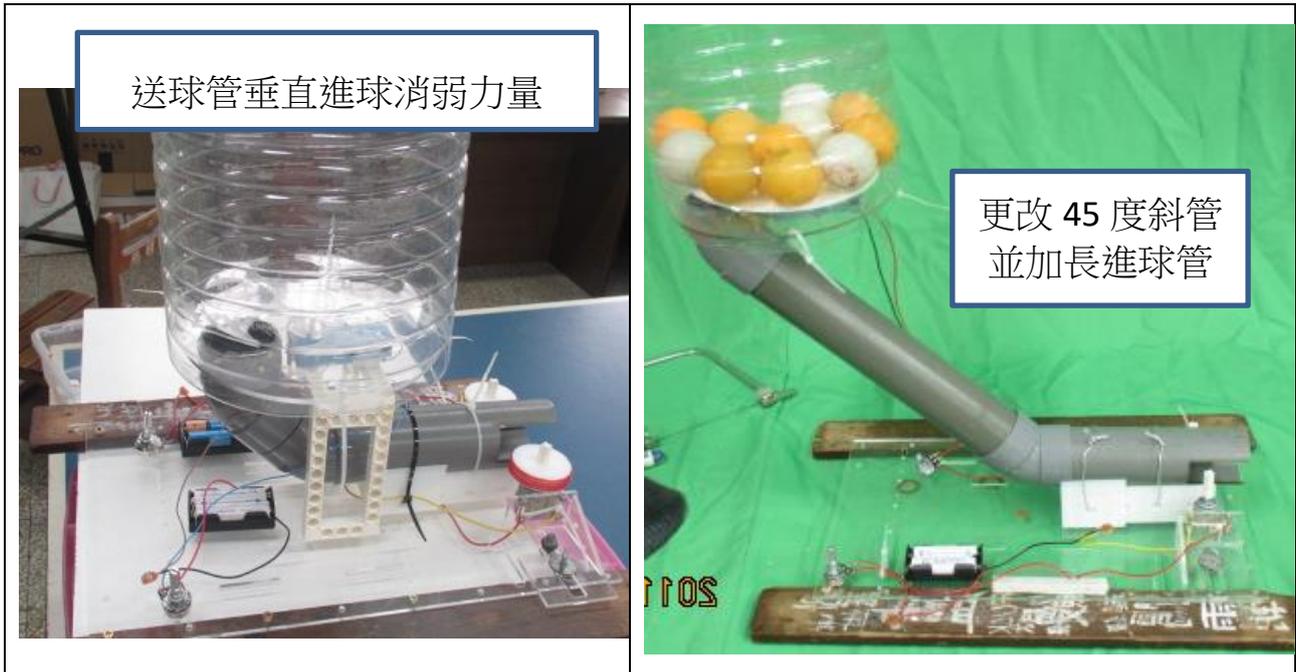


之前實驗尚未設計腳架支撐前



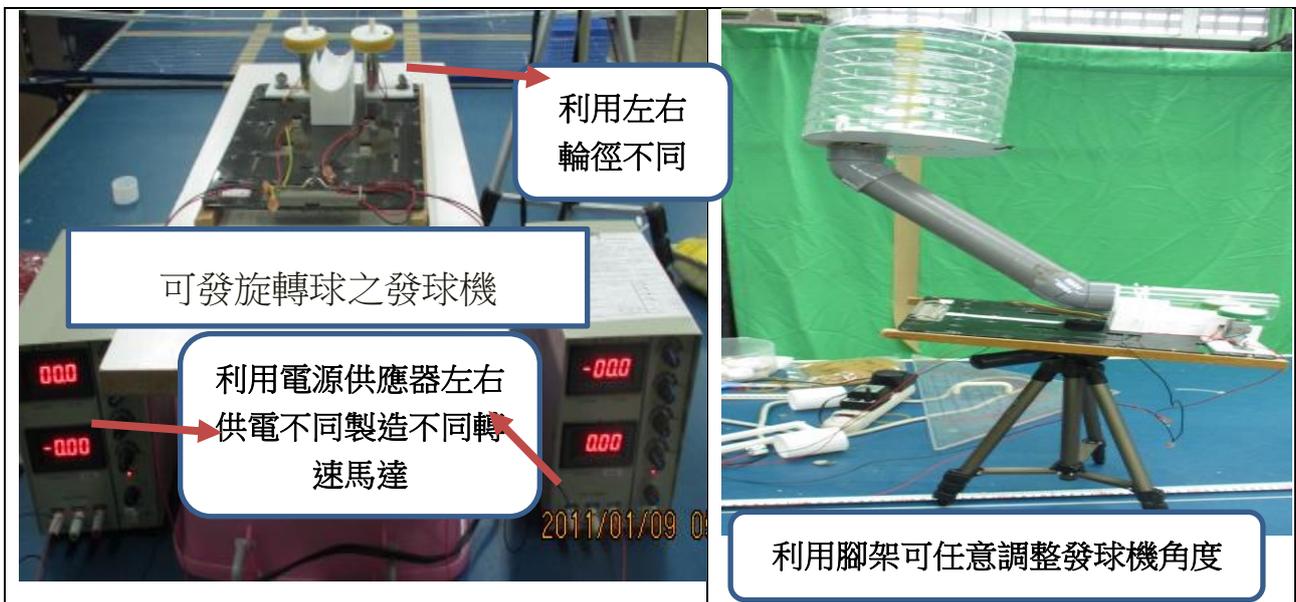
第四代水管發球機:改良設計說明：

治具製作過程



利用治具製作出--紙板發球機

利用**電源供應器並將馬達改成 12V**—可發旋轉球之發球機

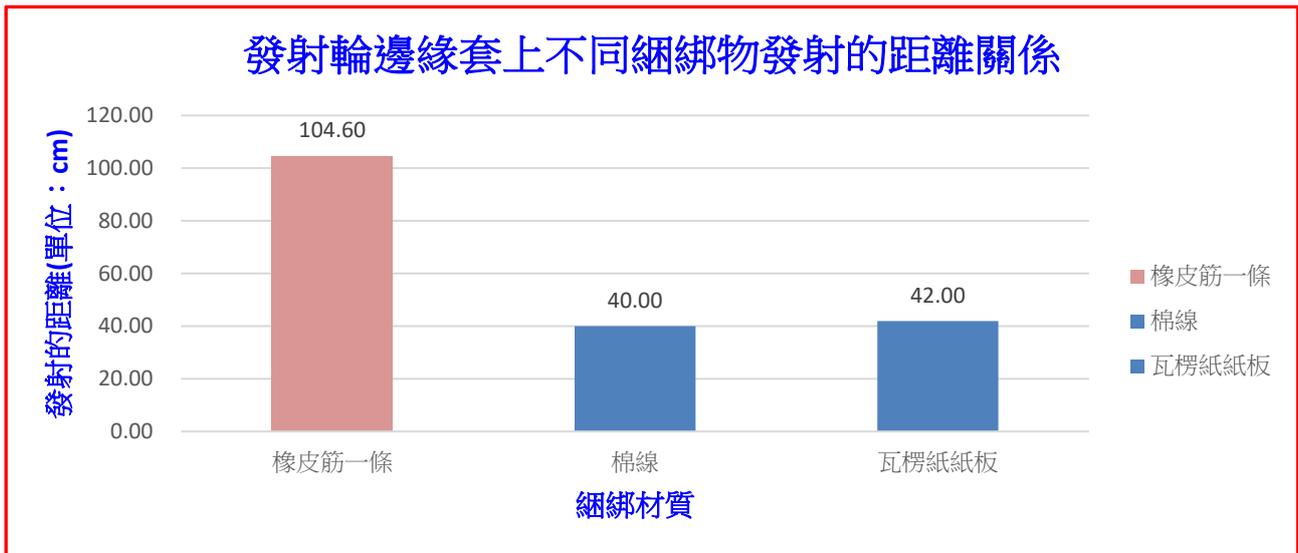


伍、研究結果與討論

本組發現橡皮筋的多寡會影響到發球機的飛行距離，以及發射力道。經本組研究橡皮筋束越多，摩擦力越大，使桌球飛得越遠。

一、探討摩擦力對桌球射程的影響

(一) 測試不同材質網綁於瓶蓋邊緣對射程的影響。

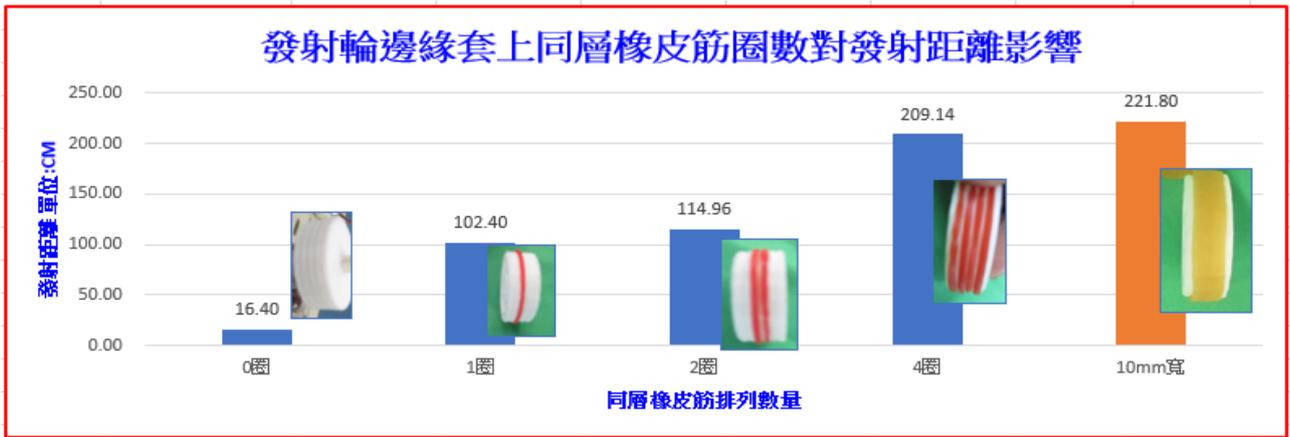


討論: 由上圖得知，本組發現將橡皮筋纏繞在瓶蓋邊緣與輕黏土年在瓶蓋邊緣對桌球的發射距離會有最遠的，但是本組發現輕黏土的發射距離過遠，會導致練習者無法有效地進行練習，所以將橡皮筋纏繞在瓶蓋邊緣是最佳的選擇。

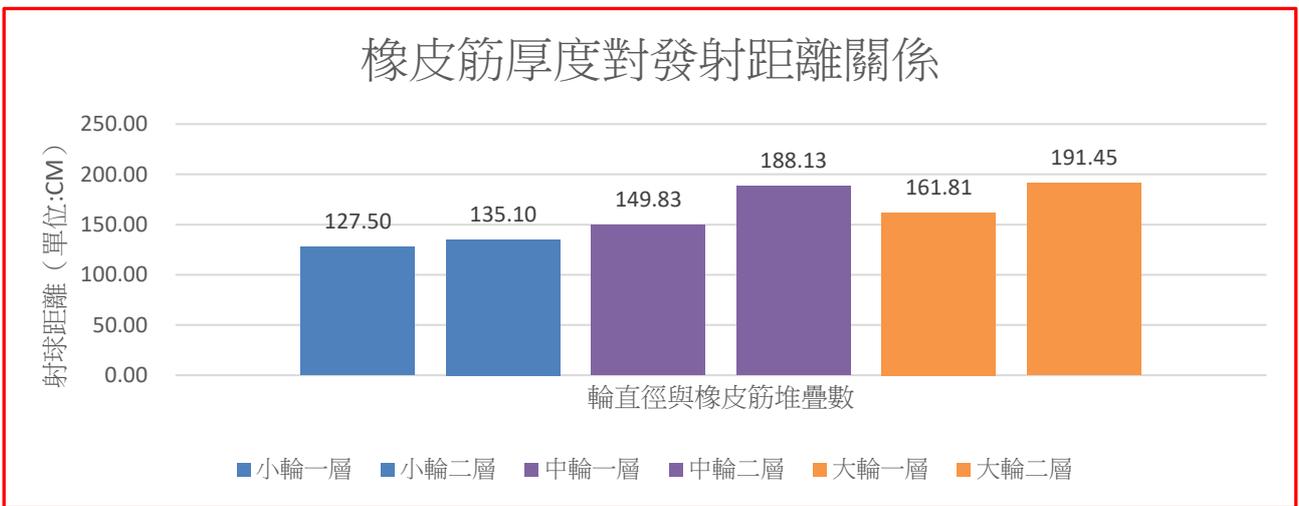
(二) 探討一層橡皮筋數目對發射距離的影響:

控制變因

傾角儀角度	兩發射輪徑	橡皮筋圈數	發射輪電阻	電池電壓
0	39mm	4 圈	0	3V



(三) 探討橡皮筋堆疊數對發射距離的關係



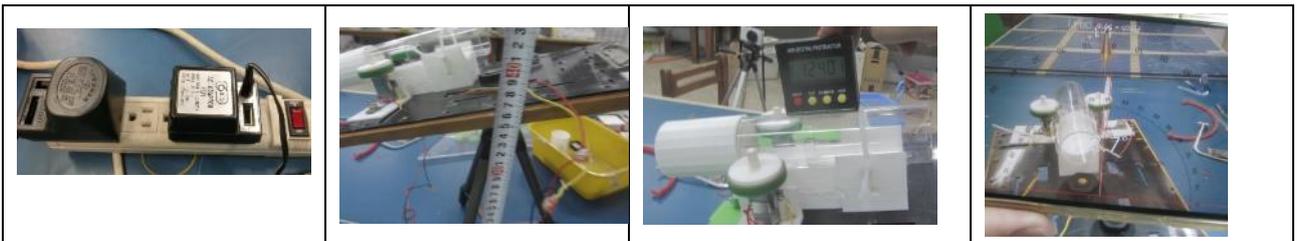
討論：

- (一)由此表可得知橡皮筋數量會影響發射距離，橡皮筋數量越多，摩擦力也相對的大。
- (二)在實驗過程我們因要記錄著地點採人工送球方式，刻意將每個球落下的時間間距拉長，以便得到確實經過輪子加速的數據。

二、探討利用相同電壓電流控制發射管的角度至桌 4-9 位置

可變電阻歐姆數:100 歐姆 馬達電壓：3-12V 供電電壓 3V 300ma

(一)實驗方法



控制相同電壓 3V	控制發球機角架高	傾角儀量測上下角度	量角 app 量左右角
-----------	----------	-----------	-------------

(二) 實驗結果(單位:度)

			
	仰角：-4.5 左右角:-16.5	仰角：-5.1 左右角:0	仰角：-4.5 左右角:-16.5
	仰角：-8.6 左右角:-16.5	仰角：-8 左右角:0	仰角：-8.6 左右角:16.5

三、探討發射輪的輪徑大小與發射距離的關係

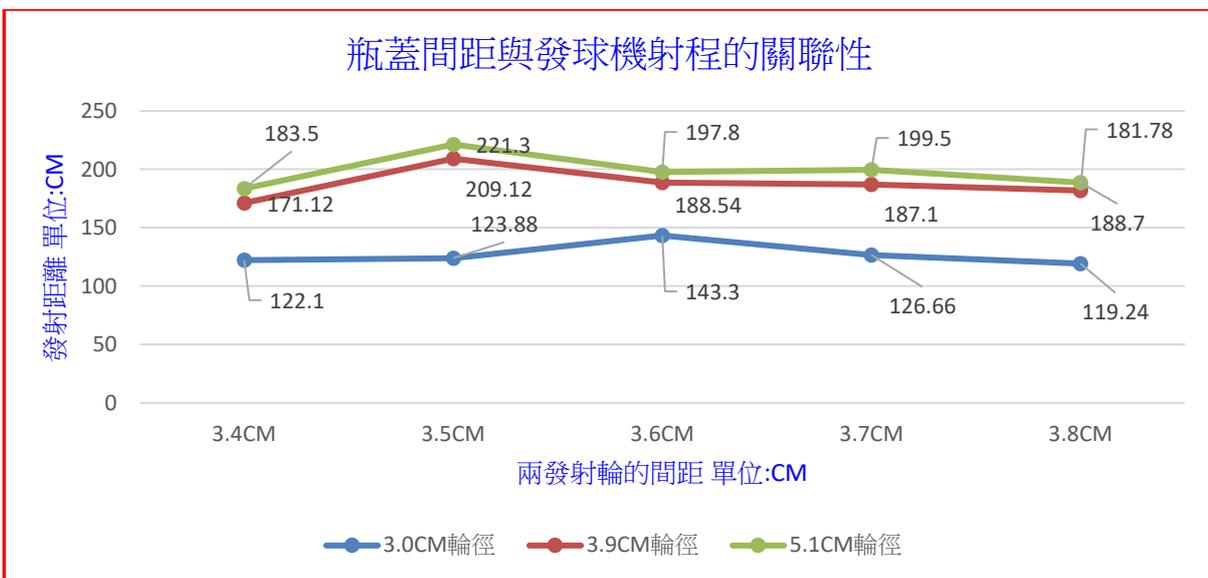
(一) 探討發射輪間距與發球機射程的關聯性。

兩個瓶蓋的間距	小於乒乓球直徑 6MM	小於乒乓球直徑 1-5mm	等於或大於乒乓球 直徑 (40mm)
實驗結果	卡在發射口	射程較遠(34-37mm)	接觸不良而難以成 功發射

控制變因

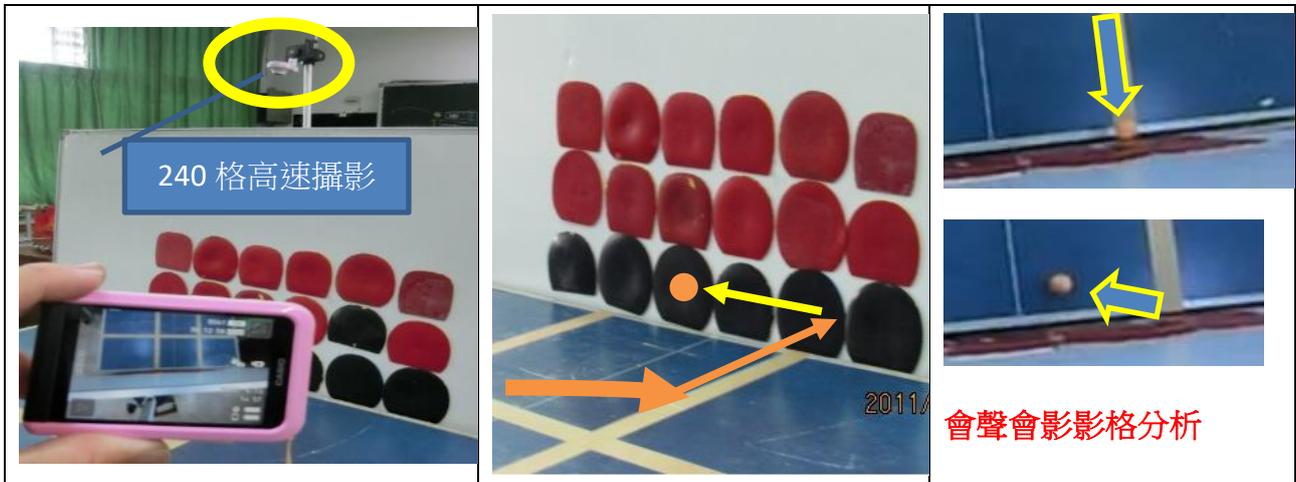
傾角儀角度	兩發射輪徑	馬達功率	橡皮筋圈數	發射輪電阻	橡皮筋層數
0	39mm	3V	4 圈	0	1 層

(二)比較三種輪徑對發球距離的影響



四、探討如何利用桌球發球機發出旋轉球

(一)量測方法：在球桌另一方垂直放置木板利用桌球拍面利用高速攝影機觀察球反彈的方向

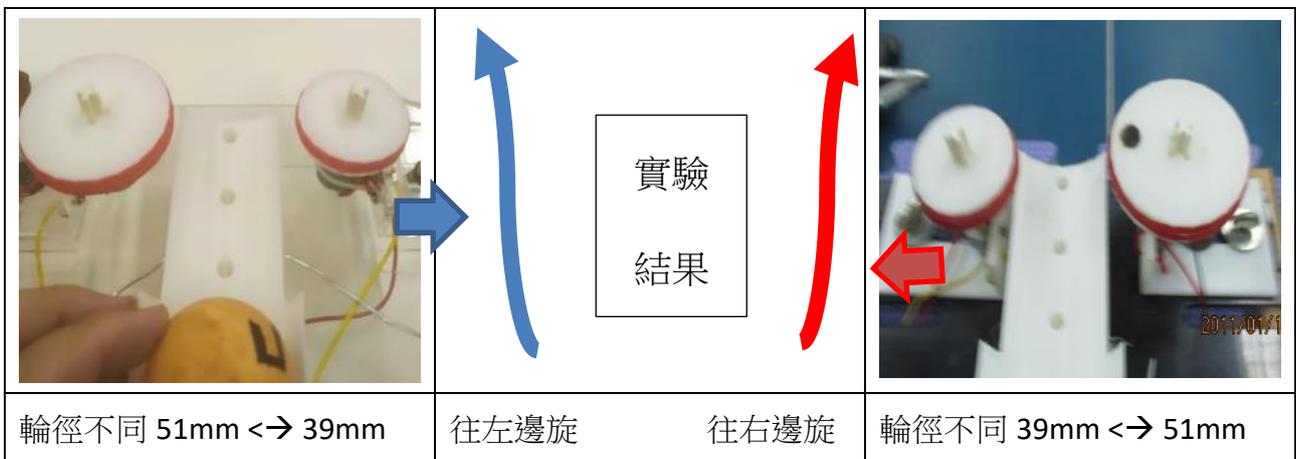


(二)探討旋轉球的可能方法

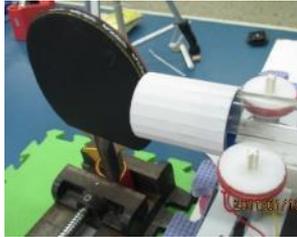
1 利用發射輪馬達轉速不同法



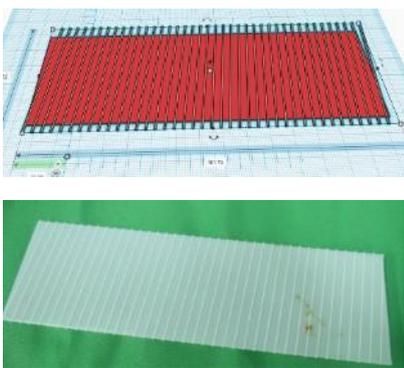
2 利用左右發射輪輪徑不同 (馬達轉速相同的情況下) -如下圖



3 在發射口球拍摩擦使其旋轉--如下圖

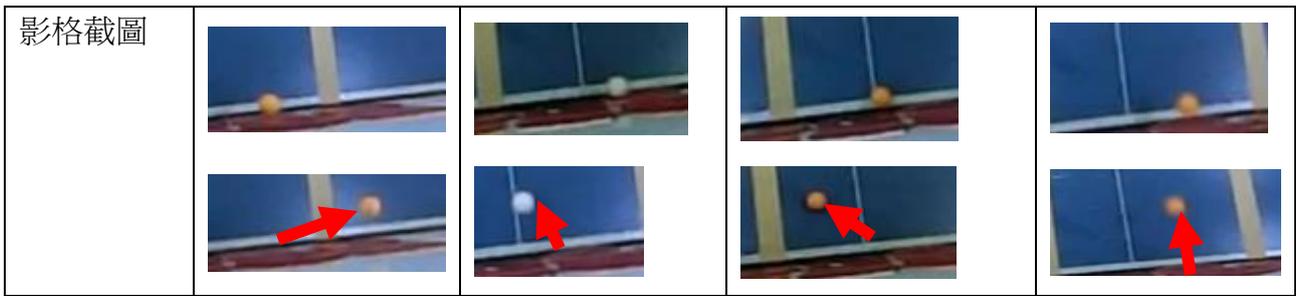
側右旋球	側左旋球	下旋球	上旋球
			
結合虎鉗、手機手持藍芽棒可調整各種角度的旋球（傾角儀量側）			45 度側斜旋球
			

4 利用槍管槓孔原理：利用發射延伸管的螺旋製造旋轉球

		
3D 列印 5 度- 15 度的螺旋線	放入特製導管內	置於發射輸出口處

(三)比較四種旋轉球成功可能性

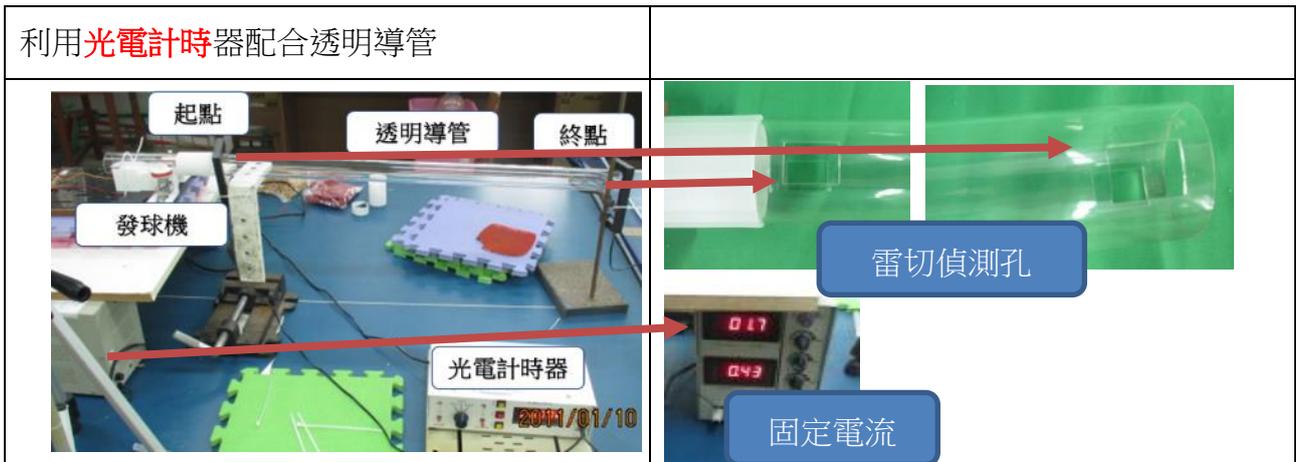
實驗方法	發射輪轉速不同法	輪徑不同轉速同法	球拍摩擦法	槍管槓孔原理
成功與否	成功	失敗(角度小)	成功	失敗
說明	必須把一馬達直接關閉 但球速變慢	方向會偏但撞擊後不會有偏角情形	可發各種旋轉球 但接觸面、角度和馬達轉速不易精準控制	球速加快 直接反彈
截圖說明				



五、探討電流大小與射出球速的關係

(一)測量方式:

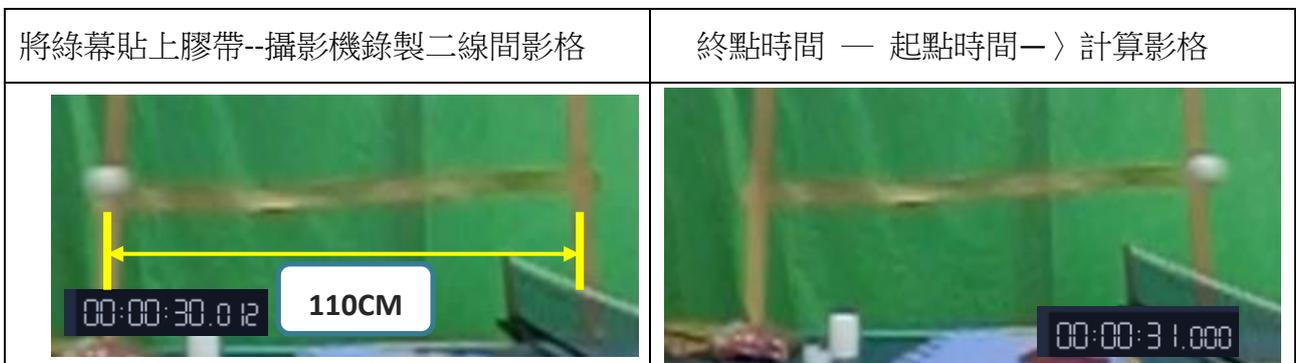
1.光電計時器測量法



討論：光電計時器測量法：

通過光電計時器偵測器必須要有導管，但球在管內會因空氣阻力或管壁磨擦力造成速度大幅減慢，實測過 80CM 管子竟要 1.21 秒，所以還是只能用高整攝影機進行影格分析。

2 高速攝影機影格分析法 (每秒 240 格高速攝影機拍攝 距離 1.1M)

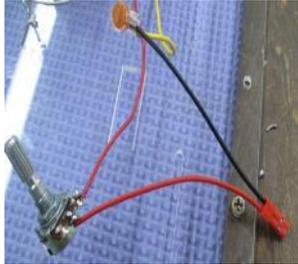
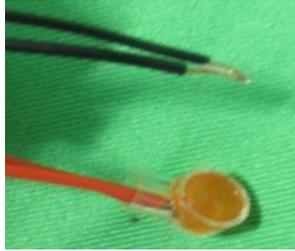


速度計算方式

時間長度: 0.600 秒	高速攝影機 240 格 240/8=8 倍速差
視訊類型: H.264 高設定檔	二間隔距離: 1.1m =0.0011KM
總畫格數: 18 畫格	播放時間/8=實際時間 0.6/8=0.075 秒=0.0000208333hr
屬性: 24 位元, 1920 x	時速=d/t=96 km/hr
畫格速率: 30.000 畫格/秒	

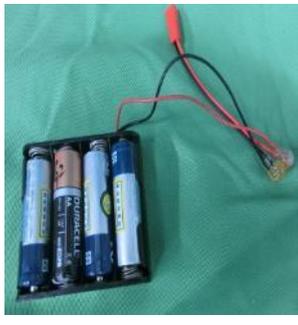
(二)改良發射輪馬達之電源供應為可拆換之快速接頭

1 · 改良設計過程

網購 JST 對插線 2P 連接線	將公座接於馬達端 (先串可變電阻)	利用接線端子連接	公母對接即可
			

2 · 提供不同供應電源的接頭

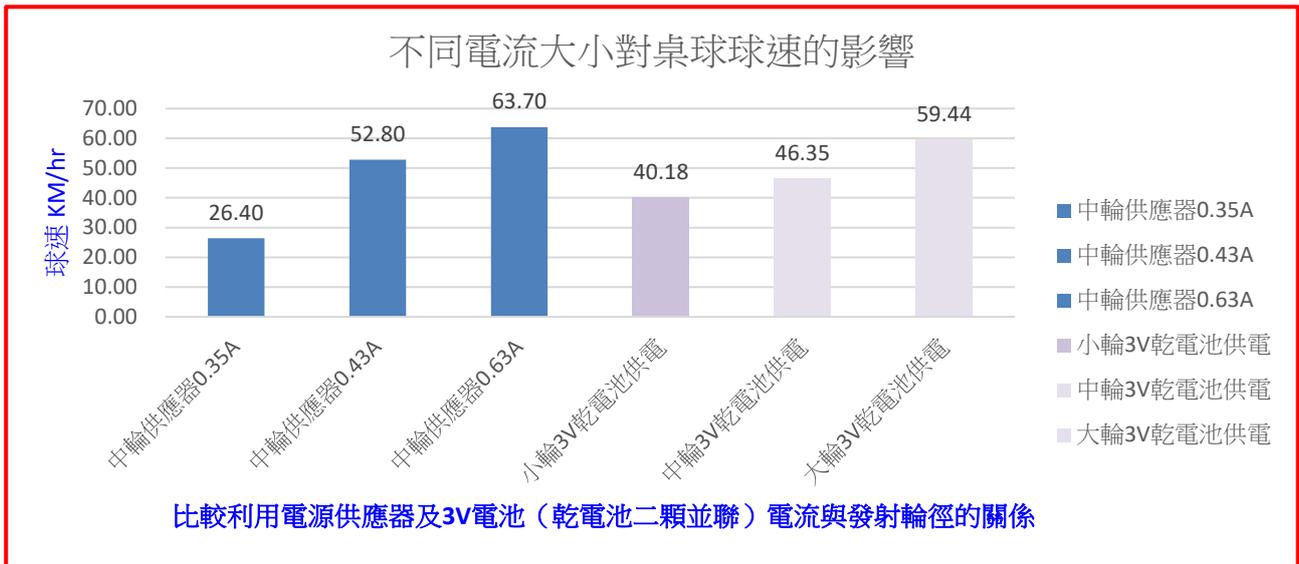
(1) 不插電電源供應器

不插電 3V 電池電源	不插電 6V 電池電源	不插電 9V 電池電源	3.7V 鋰電池 3400mAh
			

(2) 插電電源供應器

3-9V 調整形變壓器	3-12V 調整形變壓器	電腦電源供應器 黃黑-12V 紅黑-5V	
			

比較利用電源供應器及 3V 電池（乾電池二顆並聯）電流與發射輪徑的關係



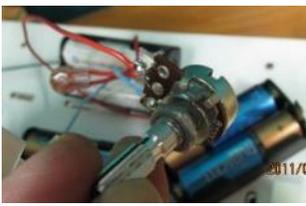
討論：(一)利用電流大小可調整發球機的球速可模擬殺球之球速(世界紀錄的 112km/hr)

由上圖可知，電流愈大時球速也就愈大。

(二)快速更換桌球機發射輪之電源是本組的一大特色，利用電池供電攜帶方便，但電池沒電時可改成變壓器供電，插電模式插電模式較為穩定但攜帶不便，電池若更改成 3.7V 的鋰電池可以達到方便且長久使用之功效。

六、進球轉盤的計與進球速度的控制

(一)設計製作流程

			
90 : 1 TT 馬達固定於底座	將大保特瓶切開和底座束線帶結合	套上設計好的進球轉盤	接上 100Ω 可變電阻
			
設計可拆卸電源	45 度水管套上連接管	再與發射台利用 45 度水管結合	

(二)送球速度計算（利用攝影機錄製後影格分析）

1 個洞轉盤速度計算方式（電阻調至最大—）轉速最慢）

		$10-9=1$ 24 格(每秒 30 格) $24/30=4/5$ 每顆進球時間間格 1.8 秒
進洞內再由下方導管送出	第二顆送入時間	二顆進球時間相減

5 個洞轉盤速度計算方式（電阻調至最大—）轉速最慢）

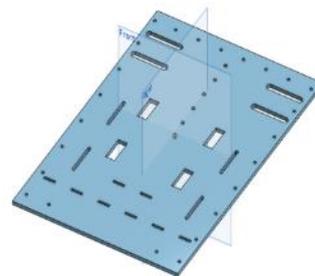
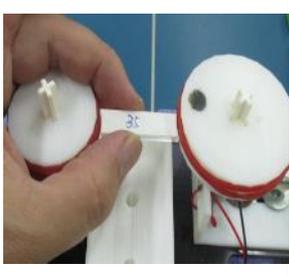
		24 格(每秒 30 格) $8+3=11$ $11/30=$ 每顆進球時間間格 0.367 秒
進洞內再由下方導管送出	第二顆送入時間	二顆進球時間相減

討論：

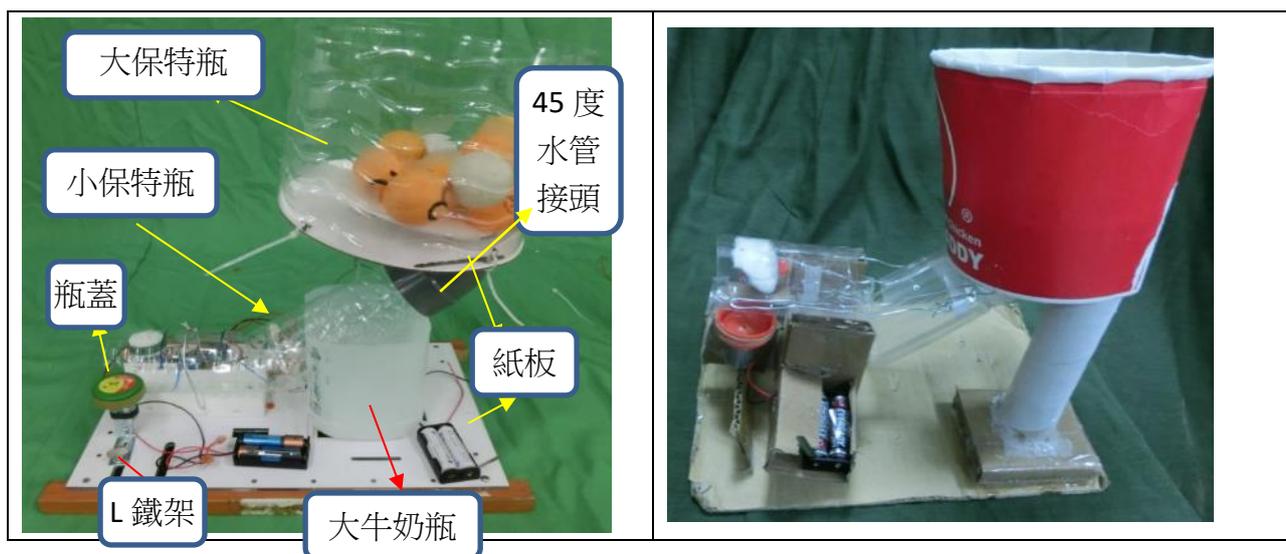
- (一) **第一代發球機** 餵球部分的轉盤雖可解決卡球問題，但無法使每顆球落下的頻率相同；當球和球之間相距時間太短，上顆球彈出後，瓶蓋來不及加速至原本轉速，下顆球又接踵而來，此時第二顆球的射程和球速便會受影響。比較不穩定的地方，就是餵球頻率不定。當較多球在集球桶中互相推擠時，球下來便比較不順；而隨著集球桶內的球越來越少，球落下的時間、間隔便會逐漸縮短。若球和球之間相距時間太短，上顆球彈出後，輪子來不及加速至原本轉速，下顆球又接踵而來，此時第二顆球的射程和球速便會變弱。若想要在練習時每球球速不要固定，則此現象恰好可提供球速變化；但若希望每球球速較一致，便要請另一人幫忙，一次丟一顆球進集球桶中，將每球的時間間距拉長，才能使每球確實加速而保持球速穩定。
- (二) **改良後發球機** 之後利用 1:48TT 馬達配合可變電阻還是太快，最後利用 1:90TT 馬達配合可變電阻及送球轉盤改成一個洞，球與球之間的時間間隔也較為合適。

七、將最佳設計模式製作治具並推廣模擬製作

(一)研發治具利用環保材料輔助製作過程與加工說明及可用材料

送球轉盤	送球轉盤底座	發射管出球口	發射管進球口
			
描繪後剪下	描繪後剪下	描繪後剪下	描繪後剪下
紙板、珍珠板	紙板、珍珠板	保特瓶或水管	保特瓶或水管
本體底座	發射輪中心描繪	發射輪間距量測	送球桶支撐座
			
描繪後剪下或手線鋸	烙鐵畫十字	雷射切割	描繪後剪下
紙板、珍珠板、木板	大小蓋子皆可	壓克力、珍珠板	牛奶瓶 1800cc

(二)利用治具輔助與第一代手工製作各方面比較及製作可用取代材料



名稱	結構	時間	送球桶	射球準度	射球速度
治具輔導製作優點	穩固	約 3HR	完全不卡球	95%擊中	可調快慢
手工原型機	鬆散	約 12HR	時常卡球	50%擊中	慢慢的
	送球間隔	教學推擴	電源供應	攜帶便利性	集球桶
	1.8 秒	可	可快速替換	可組裝	取得易
	0.2 秒	困難	固定 3 號電池	會解體	不易取得

(三)治具及實驗影片參考網址 <https://gg.gg/jmh2o>

討論:利用雷切或 3D 列印的成品來成輔助治具，可大幅減少摸索及施工錯誤的情況，施工時間只為為先的 1/3 不到，且利用廢棄物或環保材質可節省成本，如果教學上要使用材料費不到新台幣 200 元，可做出穩定性、便利性佳的發球機。



<http://gg.gg/jmh2o>

陸、結論

- 一、**送球管位置必須放在兩輪正中間**：在實驗的過程中送球管的位置必須是控制變因，但是本組在一開始的實驗中送球管是利用物品夾住，並未固定，所以實驗的數據並不穩定，因為送球管的位置會被發球機的震動而有所改變，若送球管的位置偏向右側，右

邊接觸到地面積就會越大，摩擦力也相當的大。所以本組發現送球管的位置必須放在兩輪的正中間，否則實驗的結果會不準確，桌球才有最大的射程。

二、發射輪的間距以 35-37mm 射程最遠: 本組以間距 34mm 到 38mm 作為實驗的操縱變因，測試不同的發射輪間距對射程的影響，發現發射輪間距在 35mm-37mm 且必須和橡皮筋堆疊數搭配是射程最遠的。

三、發射輪輪徑 39mm 且邊緣纏繞寬 10mm 厚橡皮筋所發射的球是最適合當作發射媒介的: 本組以發射輪間距 35mm 作為實驗的控制變因，測試三種發射輪(直徑:51mm、39mm、30mm)的射程以及發射速度，發現直徑為 30mm 的發射輪射程較短但發射速度適中；直徑 51mm 的發射輪射程太遠且發射速度太快；直徑 39mm 的發射輪射程適中且發射速度也適中，所以發射輪輪徑 39mm 且邊緣纏繞著 4 條橡皮筋所發射的球是最適合當作發射媒介的。

四、橡皮筋堆疊的數量會影響發射距離：本組分別是利用大、中、小輪來測試厚度對射程的影響，而大輪是利用厚度 2mm 的橡皮筋，中小輪是利用厚度 1.5mm 的橡皮筋，而本組發現橡皮筋堆疊的數量越多，射程越遠，但因彈性問題以 2-3 條佳且寬 10mm 最不易脫落。

五、橡皮筋在馬達高速運轉下易脫落：為了改善橡皮筋在馬達高速運轉下脫落這個問題，本組利用 3D 列印，在發射輪上設計凹痕，方便讓橡皮筋卡在上面。

六、要左右發射輪的轉速不同必須兩個馬達獨立供電：本組以方便開關為原則設定出兩個發射輪馬達由一個電源供應，但是因此馬力明顯變差若用乾電池更為顯著，而且沒辦法發射出轉速不同的球，所以將發射輪馬達獨立供電可增加馬力且可以發出旋轉球。

七、一顆 3V 馬達帶動二個發射輪會降底輪的轉速：練習接一般慢球：可用 3V 玩具馬達可以利用仰角與可變電阻控制在任何任置 練習接殺球與旋球：必須將馬達功率提昇至 6-12V，可用 9V 電池或接電變壓器配合可變電阻。

八、提昇發射輪馬達馬力可加快球速且方便利用各種供電源（電池、變壓器或行動電源）：將 3V 馬達改 12V 馬達並利用 9V 電池或 3.7V 的電池取代一般乾電池可讓電力更長久

可讓帶動發射輪大幅提升轉速、電池的電力的多寡會影響馬達的轉速送球轉盤下方的導管若太長會卡住桌球利用樂高來組合來製作送球器的支撐架

九、預防馬達空轉可設計馬達十字軸且必須設計插梢孔防止發射輪在高速運轉下鬆脫：發射輪在高速運轉下馬達軸心易空轉，本組 3D 列印設計十字軸心可防止馬達空轉且容易更換發設輪。

十、預防馬達空轉可設計馬達十字軸且必須設計插梢孔防止發射輪在高速運轉下鬆脫：發射輪在高速運轉下馬達軸心易空轉，本組 3D 列印設計十字軸心可防止馬達空轉且容易更換發設輪。

十一、控制電壓及調整發射管角度可達所需的射球位置：從實驗過程中我們發現發球機的發射管的角度調整，可以將球發射到每個位置而且可以由電流的大小控制球速的快慢並可以發出旋轉球，並且由相機的三腳架可以調整任何的角度且方便攜帶。

十二、本實驗最困難的地方是設計圖的會製與不斷的改良：開始我們都還沒學任何技術，設計的發球機非常的陽春，但經由生技課的教學我們利用新興科技 3D 列印跟雷切機輔助製作非常的便利，但是我們在繪製設計圖的過程非常的辛苦一直在請教老師師，這也是我們最難突破的一環。

十三、桌球機輔助治具大大提昇各方面的價值：利用設計出來的成品來製作治具輔助製作者，可減少施工摸索時間、減少材料成本，一台利用治具及環保廢棄材料製作出發球機成本低於新台幣 200 元。

柒、未來展望

一、利用風扇擺頭原理製作可左右射球的訓練，已**製作出成品但尚未克服小馬達無法帶動整個機構的瓶頸。**

		
擺頭式發球機第一代成品	利用連桿機構帶動擺頭	小馬達無法帶動整個機構

二、利用 Brain Go 配合 mBlock 積木軟體及藍芽積木等相關配件語音聲控發球速度及馬達轉速。

 Brain GO	 mBlock	 uln2003 步進馬達	 BrainGo 藍芽積木
---	---	---	--

三、發射輪平行與垂直放置的差異性。

四、利用自拍棒與虎鉗探討回擊各種旋球的角度。



捌、參考文獻資料

- 一、游偉哲等，退休電扇大變身—自製網球發球機，第 52 屆全國中小學科學展覽會國中組生活與應用科學科。
- 二、連廷楷等，「自動」自「發」、求新「球」變—自製桌球發球機之成效探討，第 55 屆全國中小學科學展覽會國小組生活與應用科學科。
- 三、張竣翔等，快打旋風-快打好手培育旋風計畫，第 48 屆全國中小學科學展覽會國小組生活與應用科學科。

【評語】 032902

本作品以環保題材設計雙輪發球機，從利用回收材料作出的原型機到第四代結合3D列印製成可以發旋轉球機型，經歷許多失敗，具實驗精神。針對馬達空轉、集球盤卡住等缺陷，都設法思考解決之道和改善方法。惟在實驗流程、操作變因、和結果探討的編排等敘述與表達不夠清楚，且錯字略多。

壹、研究動機

生技老師跟我們介紹學校去年剛從教育部補助經費購買雷切機及3D列印機，老師向我們建議利用新興科技可以讓自己的夢想成真，製作或設計出實用且美觀的成品，若能推廣在教學或輔助治具，讓教學、生活、夢想合而為一。

市面上的產品大多提倡環保，因此本組決定自製一臺環保的桌球發球機，但是本組對環保的定義不太理解，所以本組去詢問了一些對環保有與老師的意見後，決定利用實驗後的成品製作治具，再對於治具加以探討。

貳、研究目的

- 一、探討摩擦力對桌球射程的影響
 - (一)測試網綁於瓶蓋邊緣物品的材質對射程的影響
 - (二)探討橡皮筋數目對射程的影響
 - (三)探討橡皮筋厚度對射程的影響
- 二、探討利用相同電壓電流控制發射管的角度至桌4-9位置
- 三、探討發射輪的輪徑大小與射程的關係
 - (一)探討發射輪間距與射程的關聯性
 - (二)比較三種輪徑對射程的影響
- 四、探討如何利用桌球發球機發出旋轉球
 - (一)探討發射輪馬達轉速不同
 - (二)利用左右輪徑不同(馬達轉速相同的情況下)
 - (三)在發射口放置球拍摩擦使其旋轉
 - (四)利用槍管槓孔原理
- 五、探討電流大小與射出球速的關係
- 六、進球轉盤的設計與進球速度的控制
- 七、設計一套桌球發球機的治具於生活科技課中推廣

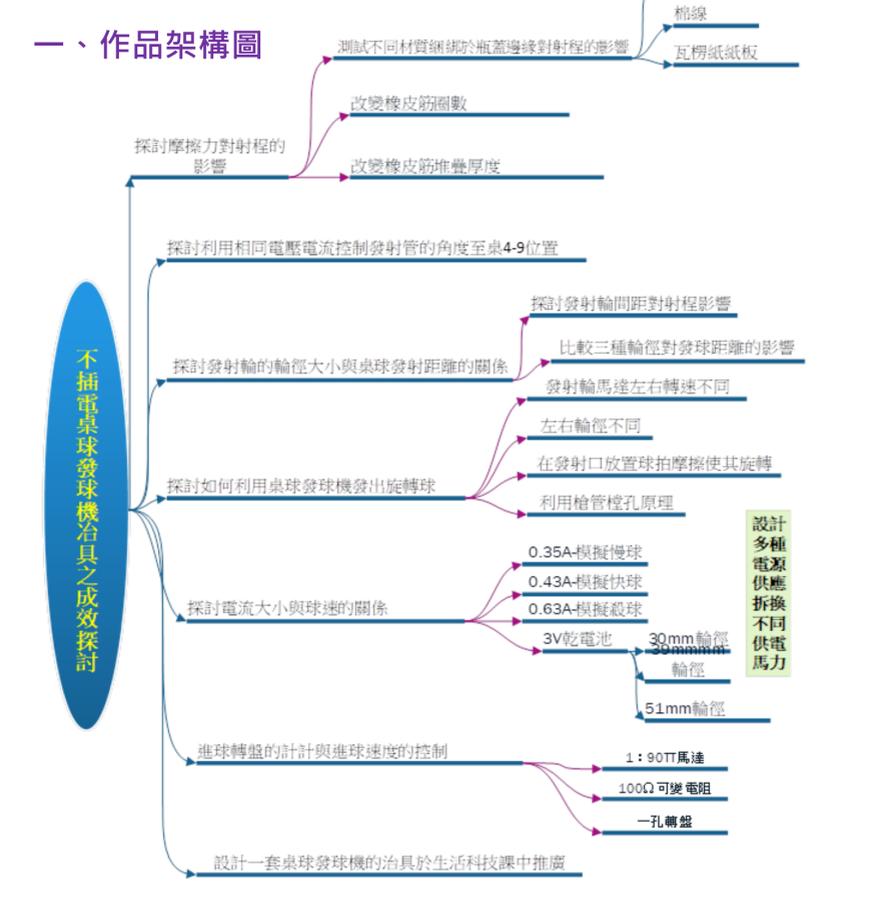
參、研究設備與器材

玩具馬達 3V	TT馬達 1:48	TT馬達 1:90	可變電阻 100歐姆	12V馬達

雷切機 SU II -9060-80W	3D 列印機 CR2020	線鋸機	電鑽及電動起子

Onshape 線上版設計圖繪製軟體(雷切及3D圖繪製使用)	螢幕剪取軟體	TinkerCAD 3D繪製軟體	自動去背網站 示意圖製作
google docs 利用共同編輯方式來撰寫實驗日誌	示意圖製作及流程圖製作	影片剪輯軟體會聲會影	利用 ONE Drive 共同編輯作品說明書
RDWork 雷切軟體	creality slicer 1.2.3 3D 列印切片軟體	量角器 APP	

肆、研究過程與方法



二、名詞解釋與原理說明

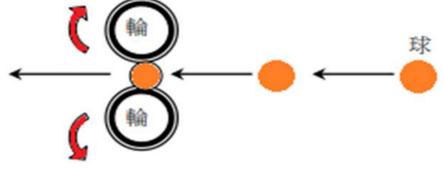
(一)何謂治具 (fixture) : 治具簡單來說是在工作時、能節省時間為工件量身訂做輔助工具，治具與模具不同。而在生產過程中，治具可以輔助讓工件物精準定位，不須重覆校正，能縮短工作時不必要的時間。治具在生活科技課中主要可節省學生製作設計時間。

(二)發球機的發射原理:

本組所製作的發球機利用兩個纏繞在瓶蓋邊緣的物品的瓶蓋且運用力將桌球擠壓射出，讓桌球順利發射。而我們主要研究的是兩個蓋子的距、馬達以及纏繞在瓶蓋邊緣的物品材質對發球機的影響。我們以兩個馬達帶動兩個瓶蓋，使桌球通過兩個瓶蓋間加速。經多次實驗，另外，原本使用的是瓶蓋本體，但加速效果不好，甚至有時球沒有射出去，反而還卡在發射出口。我們猜想也許是瓶蓋邊緣因為轉速太快而無法運用到摩擦力且桌球表面太過光滑，質量也太輕，於是本組想出了一個辦法增加瓶蓋與桌球之間的摩擦力，於是我們使用不同材質的物品纏繞在瓶蓋邊緣上，果然加速效果好很多且桌球發射的出去。

(三)根據我們上網蒐集資料的結果，市面上常見的桌球發球機可分為下列兩類：

1.雙輪式發球機：滾輪式發球機是利用輪子的摩擦力來發球。如下圖所示，兩個輪子高速旋轉且旋轉方向相互相反的輪子，輪子之間的空間略小於球的直徑，當球從滑軌滾入兩輪之間的時候，藉由輪子和球的摩擦力將球快速發射出去。



▲ 圖4 雙輪式發球機發射示意圖

2.氣壓式發球機：利用空氣壓縮機產生的氣壓，儲存在集氣鋼瓶內，當球掉入送球管時，再釋放鋼瓶內空氣，以空氣壓力將球彈出。

※因為預算以及所需材料較易取得，經過本組衡量後，決定採用雙輪式作法。

三、研究過程及方法

(一)利用3D列印及雷切軟體製作相關零件

1.設計圖與成品對照圖

繪製發射輪	繪製發射輪五孔	進球轉盤上方轉環	I型馬達底座
雷切機切割管洞	3D 繪製發射管底座	3D 繪製馬達套筒	主體底座
繪製發射輪 1 孔	送球轉盤底座	出球口治具	治具發射輪中心描繪
繪製發射輪 1 孔	送球轉盤底座	出球口治具	治具發射輪中心描繪

2.設計改良過程說明

(1)發射輪修改過程

瓶蓋發射輪	四片雷切輪結合	單片雷切輪配合蓋子	D 列印凹痕輪
<ol style="list-style-type: none"> 1 軸心空轉 2 橡皮筋高速運轉下會鬆脫 3 瓶蓋和軸心中一點接觸會有偏軸及偏心情形 4 橡皮筋無法整齊套好 	<ol style="list-style-type: none"> 1 軸心空轉 2 橡皮筋高速運轉下會鬆脫 3 四片壓克力輪太重 馬達轉速降低 	<ol style="list-style-type: none"> 1 軸心空轉 2 橡皮筋高速運轉下會鬆脫 3 塞進去後不易取出 4 必須設計許多雷切片來符合不同大小的瓶蓋 	<ol style="list-style-type: none"> 1 軸心空轉

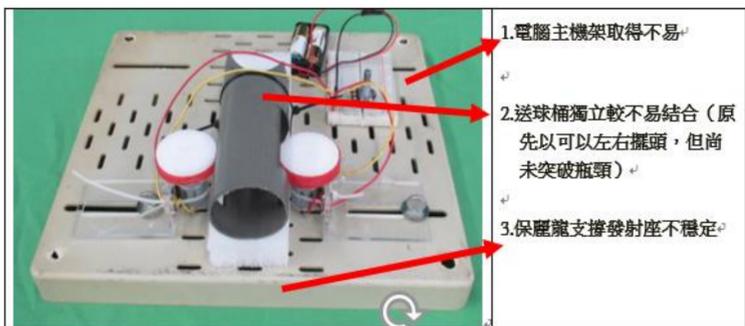
(2)第二代環保發球機-加強結構



第二代水管發球機:改良設計說明:

- 1.利用水管當發導管可加強球輸送過程的穩定性。
- 2.利用1:48的TT馬達取代傳統玩具馬達改善進球太快的缺點以及較有定性。
- 3.利用廢棄課桌椅木板加強結構穩定性。
- 4.利用雷切機切出進球機轉盤改善進原先會卡球的情形。

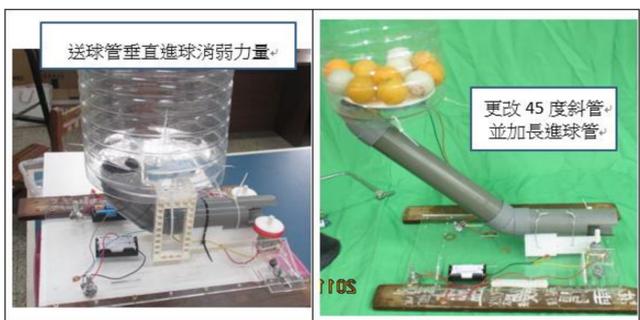
(3)第三代水管發球機:改良設計圖及說明:



(4)第四代水管發球機:改良設計說明:

◎治具製作過程:

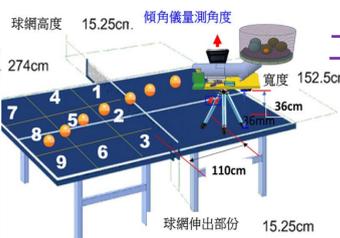
1.利用治具製作出--紙板發球機



2.利用電源供應器並將馬達改成12V—可發旋轉球之發球機

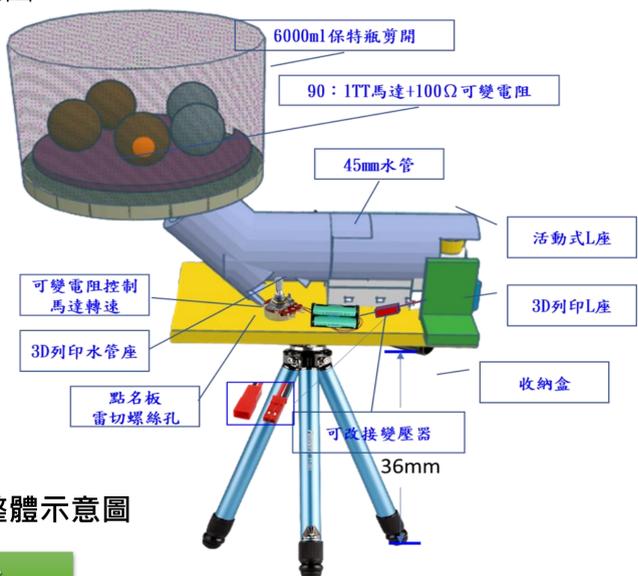


(二)實驗過程



▲ 九宮格測量法示意圖

▲ 實驗測量示意圖



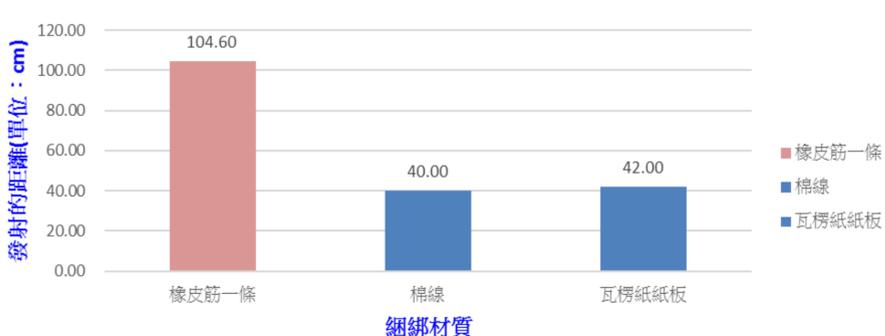
▲ 發球機整體示意圖

貳、研究結果與討論

一、探討摩擦力對桌球射程的影響

(一) 測試不同材質網綁於瓶蓋邊緣對射程的影響。

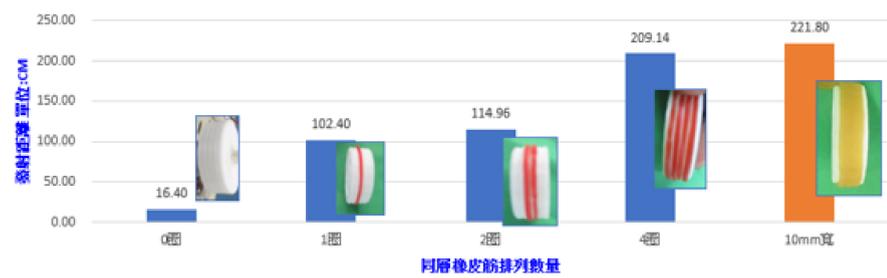
發射輪邊緣套上不同網綁物發射的距離關係



◎說明: 由上圖得知, 本組發現將橡皮筋纏繞在瓶蓋邊緣對桌球的射程是最遠的, 所以將橡皮筋纏繞在瓶蓋邊緣是最佳的選擇。

(二) 探討一層橡皮筋寬度對發射距離的影響:

發射輪邊緣套上同層橡皮筋圈數對發射距離影響

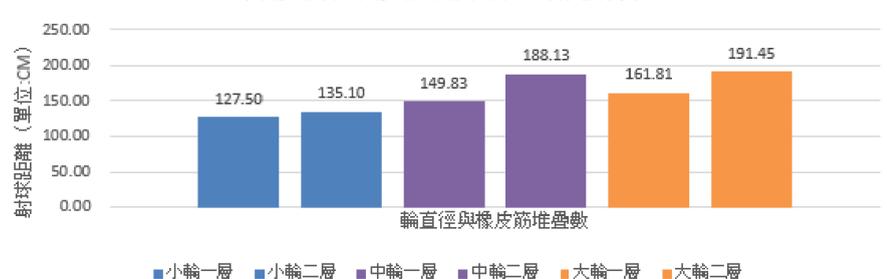


(三)控制變因:

傾角儀角度	兩發射輪徑	橡皮筋圈數	發射輪電阻	電池電壓
0°	39mm	4圈	0	3V

(四) 探討橡皮筋堆疊數對發射距離的關係

橡皮筋厚度對發射距離關係



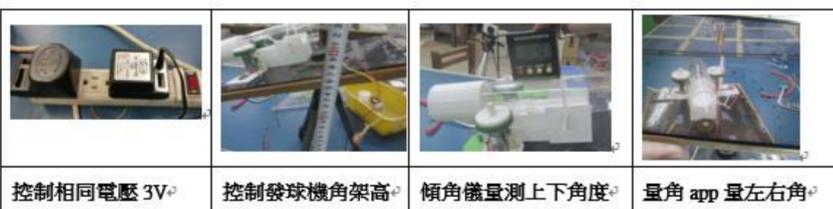
◎說明:

(一)由此表可得知橡皮筋的數量會影響發射距離, 橡皮筋數量越多, 摩擦力也相對的大。

(二)本組自製的發球機有個比較不穩定的地方, 就是餵球頻率不定。當較多球在集球桶中互相推擠時, 球下來便比較不順; 而隨著集球桶內的球越來越少, 球落下的時間、間隔便會逐漸縮短。若球和球之間相距時間太短, 上顆球彈出後, 輪子來不及加速至原本轉速, 下顆球又接踵而來, 此時第二顆球的射程和球速便會變弱。若想要在練習時每球球速不要固定, 則此現象恰好可提供球速變化; 但若希望每球球速較一致, 便要請另一人幫忙, 一次丟一顆球進集球桶中, 將每球的時間間距拉長, 才能使每球確實加速而保持球速穩定

二、探討利用相同電壓電流控制發射管的角度至桌4-9位置

(一)實驗方法(可變電阻歐姆數:100歐姆 馬達電壓:3-12V 供電電壓3V 300ma)



(二)實驗結果(單位:度)

仰角: -4.5°	仰角: -5.1°	仰角: -4.5°
左右角: -16.5°	左右角: 0°	左右角: -16.5°
仰角: -8.6°	仰角: -8°	仰角: -8.6°
左右角: -16.5°	左右角: 0°	左右角: 16.5°

三、探討發射輪的輪徑大小與發射距離的關係

(一) 探討發射輪間距與發球機射程的關聯性。

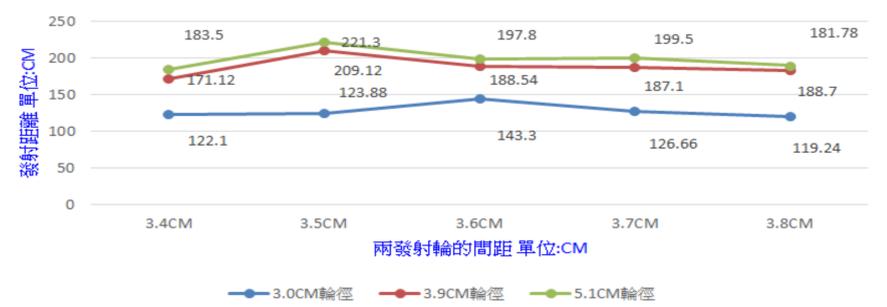
兩個瓶蓋的間距	小於乒乓球直徑	小於乒乓球直徑	等於或大於乒乓球直徑 (40mm)
實驗結果	卡在發射口	射程較遠(34-37mm)	接觸不良而難以成功發射

(二)控制變因:

傾角儀角度	兩發射輪徑	馬達功率	橡皮筋圈數	發射輪電阻	橡皮筋層數
0°	39mm	3V	4圈	0	1層

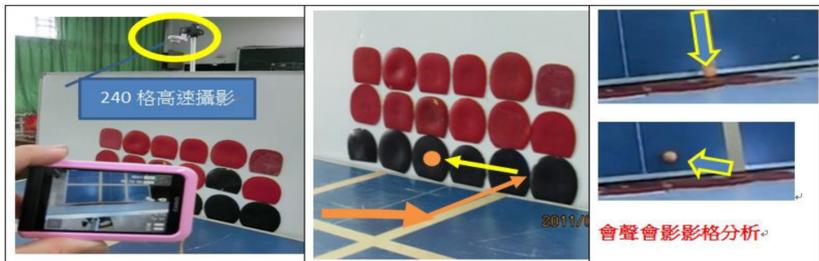
(三)比較三種輪徑對發球距離的影響:

瓶蓋間距與發球機射程的關聯性



四、探討如何利用桌球發球機發出旋轉球

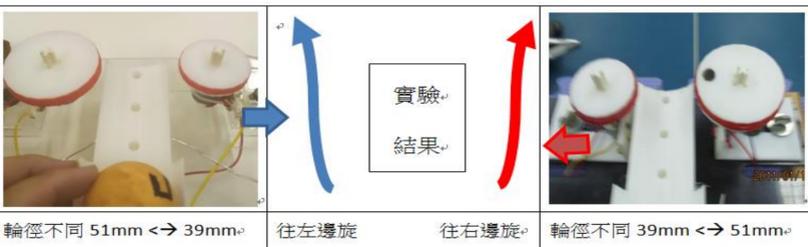
(一)量測方法：**在球桌另一方垂直放置木板利用桌球拍利用高速攝影機觀察球反彈的方向**



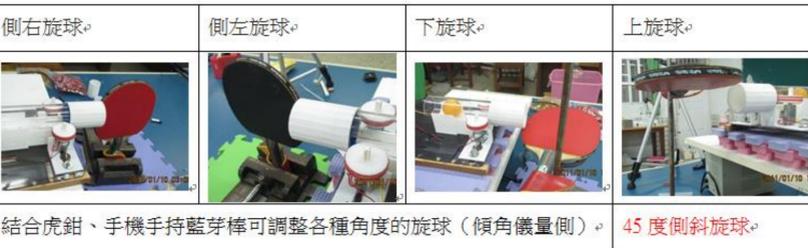
(二)探討旋轉球的可能方法：
1.發射輪馬達轉速不同法：



2利用左右發射輪輪徑不同 (馬達轉速相同的情況下)



3在發射口球拍摩擦使其旋轉--如下圖



(三)比較四種旋轉球成功可能性

實驗方法	發射輪轉速不同法	輪徑不同轉速同	球拍摩擦法	槍管槓孔原理
成功與否	成功	失敗(角度小)	成功	失敗
說明	必須把一馬達直接關閉，但球速變慢	方向會偏但撞擊後不會有偏角情形	可發各種旋轉球，但接觸面、角度和馬達轉速不易精準控制	球速加快，直接反彈
截圖說明				
影格截圖				

五、探討電流大小與射出球速的關係

高速攝影機影格分析 (秒240格高速攝影機拍攝距離1.1M)

將綠幕貼上膠帶-攝影機錄製二線間影格

終點時間 - 起點時間 - 計算影格

速度計算方式

時間長度: 0.600 秒

高速攝影機 240 格 240/8=8 倍速差

二間隔距離: 1.1m=0.0011KM

視訊類型: H.264 高設定檔

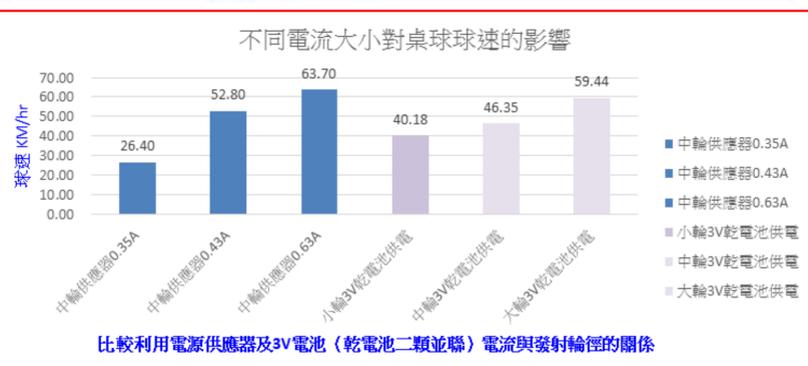
總畫格數: 18 畫格

屬性: 24 位元, 1920 x

畫格速率: 30.000 畫格/秒

播放時間/8=實際時間 0.6/8=0.075 秒=0.0000208333hr

時速=d/t=96 km/hr



六、進球轉盤的計與進球速度的控制

1個洞轉盤速度計算方式 (電阻調至最大) 轉速最慢)



七、治具及手工原型機的比較

比較利用治具前後成品比較



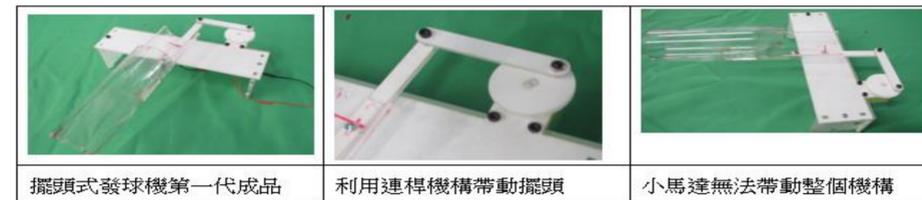
名稱	結構	時間	送球桶	射球準度	射球速度
治具輔導製作優點	穩固	約 3HR	完全不卡球	95%擊中	可調快慢
手工原型機	鬆散	約 12HR	時常卡球	50%擊中	慢慢的
	送球間隔	教學推擴	電源供應	攜帶便利性	集球桶
	1.8 秒	可	可快速替換	可組裝	取得易
	0.2 秒	困難	固定 3 號電池	會解體	不易取得

陸、結論

- 橡皮筋的數量以及厚度會影響發射距離**：本組分別是利用大、中、小輪來測試橡皮筋數量、厚度對射程的影響，在數量的實驗中，分別以1、2、4條的橡皮筋為操縱變因，本組發現橡皮筋的數量越多，射程越遠。在厚度的實驗中，大輪是利用厚度2mm的橡皮筋，中小輪是利用厚度1.5mm的橡皮筋，本組發現橡皮筋堆疊的數量越多，射程越遠。
- 控制電壓及調整發射管角度可達所需的射球位置**：從實驗過程我們發現發球機的發射管的角度調整，可以將球發射到每個位置，而且可以由電流的大小控制球速的快慢並可以發出旋轉球，並且由相機的三腳架可以調整任何的角度且方便攜帶。
- 發射輪的間距以35mm射程最遠**：本組以間距34mm到38mm作為實驗的操縱變因，測試不同的發射輪間距對射程的影響，發現發射輪間距在35mm且必須和橡皮筋堆疊數搭配是射程最遠的。
- 發射輪輪徑39mm且邊緣纏繞寬10mm厚橡皮筋所發射的球是最適合當作發射媒介的**：本組以發射輪間距35mm作為實驗的控制變因，測試三種發射輪(直徑:51mm、39mm、30mm)的射程以及發射速度，發現直徑為30mm的發射輪射程較短但發射速度適中；直徑51mm的發射輪射程太遠且發射速度太快；直徑39mm的發射輪適中且發射速度也適中，所以發射輪輪徑39mm且邊緣纏繞著4條橡皮筋所發射的球是最適合桌球練習的。
- 發射輪的轉速不同以及利用桌球拍面摩擦能發出旋轉球**：本組使用了四種方法來測試是否可以發出旋轉球。其中又以磨擦法和控制發射輪轉速成功發射出旋球，而控制輪徑大小和槍管槓孔兩種方法並無成功。
- 旋轉盤上面的洞口越少，進球速度越慢**：本組以旋轉盤的洞數為操縱變因，分別以1、5個洞數當作實驗的變因，五個洞數的旋轉盤每顆進球時間為0.367秒，一個洞數的旋轉盤進球速為1.8秒。
- 預防馬達空轉可設計馬達十字軸且必須設計插梢孔防止發射輪在高速運轉下鬆脫**：發射輪在高速運轉下馬達軸心易空轉，本組3D列印設計十字軸心可防止馬達空轉且容易更換發設輪。
- 本實驗最困難的地方是設計圖的繪製與不斷的改良**：開始我們都還沒學任何技術，設計的發球機非常的陽春，但經由生技課的教學我們利用新興科技3D列印跟雷切機輔助製作非常的便利，但是我們在繪製設計圖的過程非常的辛苦一直在請教老師師，這也是我們最難突破的一環。
- 橡皮筋在馬達高速運轉下易脫落**：為了改善橡皮筋在馬達高速運轉下脫落這個問題，本組利用3D列印，在發射輪上設計凹痕，方便讓橡皮筋卡在上面。
- 桌球機輔助治具大大提昇各方面的價值**：利用設計出來的成品來製作治具輔助製作者，可減少施工摸索時間、減少材料成本，一台利用治具及環保廢棄材料製作出發球機成本低於新台幣200元。

柒、未來展望

- 利用風扇擺頭原理製作可左右射球的訓練，已製作出成品但尚未克服小馬達無法帶動整個機構的瓶頸。



控發球速度及馬達轉速。



- 發射輪平行與垂直放置的差異性。
- 利用自拍棒與虎鉗探討回擊各種旋球的角度。

捌、參考文獻資料

- 游偉哲等，退休電扇大變身-自製網球發球機，第52屆全國中小學科學展覽會國中組生活與應用科學科。
- 連廷楷等，「自動」自「發」、求新「球」變-自製桌球發球機之成效探討，第55屆全國中小學科學展覽會國小組生活與應用科學科。
- 張竣翔等，快打旋風-快打好手培育旋風計畫，第48屆全國中小學科學展覽會國小組生活與應用科學科。