

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

第三名

080101

小白球的秘密？"圓"來如此！

學校名稱：新北市林口區麗林國民小學

| | |
|-------------------------|---------------------|
| 作者： 小五 林旻佑 小五 游鎮宇 | 指導老師： 孫淑芬 游振豐 |
|-------------------------|---------------------|

關鍵詞：高爾夫球、單擺、U 型軌道

作品名稱：小白球的祕密？“圓”來如此！

摘要

關於研究方法：平面滾動實驗中所使用的斜坡軌道，是仿照溜滑梯的外型所設計出來的；至於斜坡滾動實驗的 U 型軌道，則是回憶起暑假期間曾到遊樂園看見雲霄飛車在起起伏伏的軌道上運行時所構思出來的方法；飛行實驗的球體飛行器，其靈感是來自校園中常見的盪鞦韆。這三種實驗方法都是利用球體本身的重力當作驅動物體移動的力量來源，並以量測時間差代替距離的概念，把記錄資料的工作變得非常簡單，讓我們在有限小空間內就能做實驗，來提升實驗過程的便利性與結果的準確性。透過實驗的規劃，我們分析凹洞的形狀、大小、深度、數量與分佈對球體的運動距離遠近的影響程度，並推測最佳設計的參數。

壹、研究動機

當自然課進行到『有趣的力』這個單元時，老師為了要加強大家對『力』的認識，於是利用各式各樣的球來引導同學觀察它們受力之後在形狀、大小與運動距離的變化，其中高爾夫球佈滿凹洞的獨特外型，馬上就吸引了我的目光，我立刻好奇的問：『為什麼高爾夫球的球面要有凹洞？而且，還都是均勻分佈的圓形凹洞呢？』老師回答說：『也許是為了要增加球體的運動距離，但這是個好問題，讓我們一起來找答案吧！』因緣際會下我與同學接受老師的建議，將高爾夫球當作這次科展的研究主題。在與師長討論實驗方法的過程中，我們閱讀了許多和高爾夫球相關的文章以幫助我們對高爾夫球的認識，但發現此一主題在第 36 屆全國科展作品中已提出相關的研究結果了，因之，我們嘗試著去思考能否找出更簡單、更方便的研究方法來探討高爾夫球其球面圓形凹洞的原因，就在這樣的想法與老師的引導和鼓勵下，一趟探究小白球神祕凹洞科學實驗之旅就此展開了。

貳、研究目的

高爾夫球選手在發球台上揮桿的瞬間，高爾夫球就迅速的向空中飛去，有時落在平坦的球道上，有時運氣不好卻落入沙坑內，最後還須把球打上看似平坦卻略帶坡度的果嶺。依據這樣的運動方式，我們擬訂了研究目的有：

- 一、認識高爾夫球。
- 二、探討球體表面的凹洞**形狀**是否影響球體在平面滾動、斜坡滾動、空中飛行時的距離。
- 三、探討球體表面的凹洞**深淺**是否影響球體在平面滾動、斜坡滾動、空中飛行時的距離。
- 四、探討球體表面的凹洞**大小**是否影響球體在平面滾動、斜坡滾動、空中飛行時的距離。
- 五、探討球體表面的凹洞**數量**是否影響球體在平面滾動、斜坡滾動、空中飛行時的距離。
- 六、探討球體表面的凹洞**分佈**是否影響球體在平面滾動、斜坡滾動、空中飛行時的距離。

參、實驗設備及器材

本研究報告所需的實驗設備與器材如下表一所示：

表一：實驗器材

| 器材名稱 | 數量 | 用途 |
|-------------------|------|--------------|
| 1.自製斜坡軌道 | 1 個 | 提供球體移動時其受力來源 |
| 2.自製U型軌道 | 1 個 | 模擬高爾夫球場斜坡球道 |
| 3.自製球體飛行器 | 1 個 | 小空間的球體飛行區 |
| 4.計時器 | 1 個 | 計時球體運動的時間 |
| 5.相機 (CANNO 700D) | 1 臺 | 拍攝實驗過程 |
| 6.推桿練習器的人工草皮 | 1 個 | 模擬高爾夫球場球道 |
| 7.彈力球 | 18 顆 | 模擬高爾夫球 |
| 8.捲尺 | 1 個 | 量測球體移動的距離 |

肆、研究過程與方法

一、認識高爾夫球

(一) 閱讀文獻以了解高爾夫球的演進

高爾夫球運動的起源眾說紛紜，有人說可能是在 13 世紀時期經由荷蘭的 kolven 運動而演變過來[6]。也有人說是源自中國南唐時期(約 943 年)的捶丸[4]，至於目前對高爾夫球運動比較有共識的看法是：高爾夫球 18 洞的運動真正發展是從蘇格蘭開始的。

(二)比較各個廠牌外觀及設計差異。

如圖一所示，市售高爾夫球是一個表面佈滿凹洞，直徑不可超過約 42.67mm，重量不得超過 1.62 盎司的球體，其外觀是均勻分佈的圓型凹洞，數量界於 300~500 個。我們到高爾夫球店內的二手球區，將各個廠牌外觀的設計差異，整理結果如表二。



圖一：市售高爾夫球

表二：市售高爾夫球的外觀調查結果

| 廠牌 | 凹洞形狀 | 直徑大小 | 重量 | 直徑 | 凹洞深度 | 凹洞數量 | 凹洞分佈 | 凹洞間隔 |
|------------------|------|--------|-----|---------|--------|------|------|--------|
| Tayxxxxxxx | 圓 | 3.24mm | 47g | 42.53mm | 0.04mm | 340 | 均勻對稱 | 0.92mm |
| Kaxxx | 圓 | 3.50mm | 46g | 42.66mm | 0.04mm | 328 | 均勻對稱 | 0.90mm |
| Titxxx ProV1x | 圓 | 3.78mm | 46g | 42.65mm | 0.04mm | 334 | 均勻對稱 | 0.87mm |
| WxxxxxSxxxx | 圓 | 4.25mm | 46g | 42.67mm | 0.04mm | 316 | 均勻對稱 | 0.60mm |
| Nxxx | 圓 | 3.80mm | 46g | 42.62mm | 0.04mm | 332 | 均勻對稱 | 0.90mm |
| Lxxx | 圓 | 3.66mm | 46g | 42.67mm | 0.04mm | 432 | 均勻對稱 | 0.89mm |

(三)依不同變因自製實驗用高爾夫球。

1.材質評估結果：

工欲善其事必先利其器，為了使實驗球體能更接近市售高爾夫球，我們嘗試了不同材質的圓形球體，經過價格、重量、體積大小、滾動測試及表面是否易於刻出圖形等因素的評估後，決定使用彈力球作為實驗的球體。我們以 1~5 點分別對球體給予評分，下頁表三是評估後的結果。

表三：球體材質評估表

| | 保麗龍球 | 紙粘土 | 彈力球 |
|-------|---|--|---|
| 大小 | 4 | 1 | 5 |
| 重量 | 1 | 2 | 5 |
| 價格 | 4 | 5 | 2 |
| 形狀刻印 | 1 | 5 | 4 |
| 滾動穩定度 | 1 | 3 | 5 |
| 總分 | 11 | 16 | 21 |
| 球體外觀 |  |  |  |
| 說明 | 價格低，雖然大小接近高爾夫球，但重量太輕，所以需要加鋼珠來增加重量，卻易導致重心不均而造成滾動時行徑方式不確定，且烙印時表面形狀的大小與深度不易控制。 | 價格低，易於在球體表面刻印出形狀，但紙黏土經過風乾後重量不易控制，而外型也不易維持圓形。 | 重量，大小接近高爾夫球，易於在球體表面刻印出形狀，但價格稍高。 |

2.製做實驗用球體：我們以下列的工具自製實驗用的高爾夫球。


















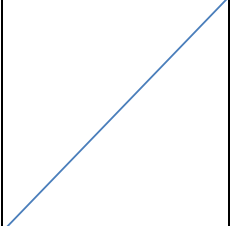
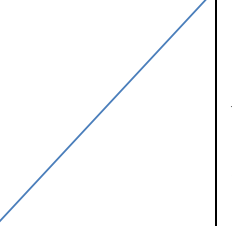
- (1)使用鑽孔機可鑽出不同大小與深度的圓孔。
- (2)以游標卡尺量測圓孔直徑，凹洞深度與間隔。
- (3)以電子稱稱出每顆球重量。

3.球體的重量如何控制？

為了模擬高爾夫球表面凹陷的情況，所以我們必須對彈力球表面鑽孔，但鑽孔後的球每顆有可能重量不盡相同而造成實驗不精確，以下是我們克服此問題的方法：

- (1)以對角鑽孔方式減輕重量。
- (2)回填已打穿的圓孔，使之與其他圓孔孔徑大小深度一致。
- (3)以電子秤稱出每顆球的重量，以確認重量是如預期的。

4.完成實驗用高爾夫球：

| 表四：球體條件比較表 | | | | | |
|--|---|---|--|---|---|
| 條件說明 | 深度 1mm | 深度 2mm | 深度 3mm | 深度 4mm | 附註說明 |
| 面積相同， 深度不同。 |  |  |  |  | 重量 55 g 凹洞數 82 個 面積(直徑 4mm) |
| 條件說明 | 圓孔直徑 2mm | 圓孔直徑 3mm | 圓孔直徑 4mm | 圓孔直徑 5mm | 附註說明 |
| 面積不同， 深度相同。 |  |  |  |  | 重量 50 g 凹洞數 82 個 凹洞深度 2mm |
| 條件說明 | 光滑 | 圓柱 | 正方柱 | 三角柱 | 附註說明 |
| 面積相同， 深度相同， 形狀不同。 |  |  |  |  | 重量 55 g 面積約 9.6mm ² 凹洞數 82 個 凹洞深度 1mm |
| 條件說明 | 凹洞數 76 個 | 凹洞數 98 個 | 凹洞數 150 個 | 凹洞數 256 個 | 附註說明 |
| 面積相同， 深度相同， 形狀相同， 凹洞數不同。 |  |  |  |  | 重量 47 g 面積(直徑 3mm) 凹洞深度 1mm |
| 條件說明 | 數量相等 41/ 41 | 數量不等 17/ 65 | | | 附註說明 |
| 面積相同， 深度相同， 形狀相同， 凹洞分佈 方式不同。 |  |  |  |  | 重量 55 g 面積(直徑 3mm) 凹洞深度 1mm |

二、實驗器材之設計原理與製做

(一)設計原理：

我們運用如下的物理原理設計了實驗器材來進行我們的實驗；

- 1、靜止：當一個物體呈現靜止不動的狀態，那表示這個物體處於平衡狀態，受到的合力等於零[9]，並以此原理停止計時或量測距離。
- 2、重力：具有質量的物體之間相互吸引的作用，是物體重量的來源。在這次的研究裡，是當作球體移動受力來源。
- 3、光的直線傳播：此為光的特性之一，因為光線直線前進，若遇到無法穿透的障礙物時，會在物體的背後產生陰影。所以藉由光投射在球體背後所產生的陰影在停止區(5度線區域)擺盪時，即表示飛行運動停止了，並記錄球體飛行的總時間。

(二)實驗器材之製做

1.斜坡軌道

(1)目地：以木片組合出可調整角度的斜面，藉由斜面角度的改變來產生不同的滑力，並搭配推桿練習器的人工草皮來模擬球體在平面滾動的情形。

(2)製作步驟：

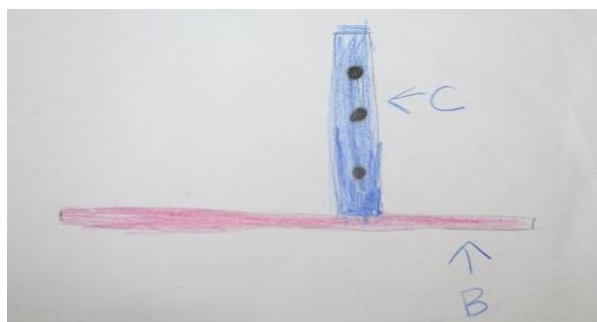
步驟一：將兩片(A：長 46 公分；寬 22 公分，B：長 23 公分、寬 22 公分)桐木片用鉸鍊連接，如此可使木片與木片間是一組活動且可調整任意夾角的組合。

步驟二：在另一組(C：長 30 公分、寬 4.5 公分寬)規格較小木片上鑽孔，做為設定不同斜坡角度的參考點。

步驟三：將步驟(2)的 C 木片以垂直方式與步驟(1)的 B 木片做黏合，如圖二所示。

步驟四：取一工字軌當下滑軌道 並以螺絲固定在斜坡上，如圖三所示。

步驟五：將配推桿練習器的人工草皮與可調式斜坡面做連接即可。



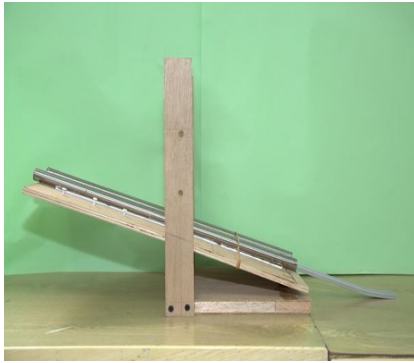
圖二：B 木片與 C 木片的組合示意圖



圖三：斜坡軌道設計圖

(3)器材介紹與說明：

斜面軌道共有三種角度可使用(如圖四~六)，並配合推桿練習器上的人工草皮所組合成的平面滾動實驗設備(如圖七)，實驗時將球置於軌道上，在固定的距離下藉由重力讓球從斜坡滾下，並待球體靜止時，用捲尺量測球體在草皮上滾動距離。



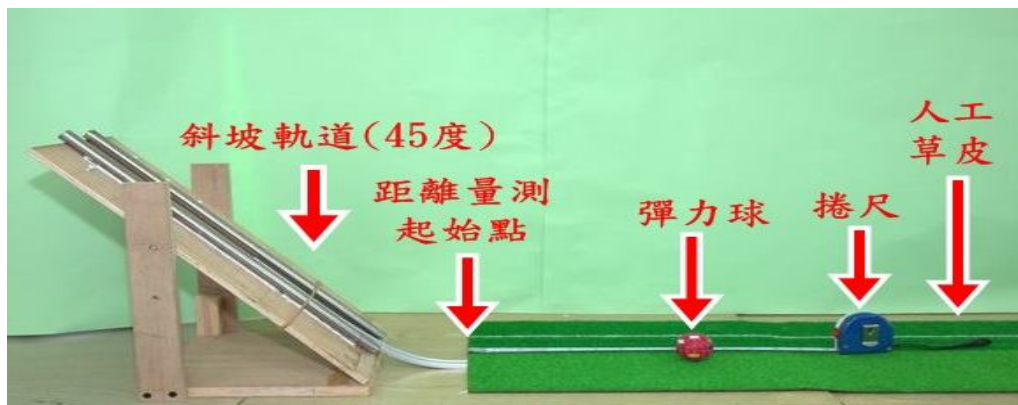
圖四：15 度斜坡



圖五：30 度斜坡



圖六：45 度斜坡



圖七：斜坡軌道與人工草皮

2.自製 U 型軌道

(1)目地：以 PVC 管製作一 U 型軌道，用來模擬球體在斜坡滾動的環境。依彎曲度不同可製作出不同角度的軌道，本實驗裡，我們規劃 15 度與 30 度的 U 型軌道。

(2)製作步驟：

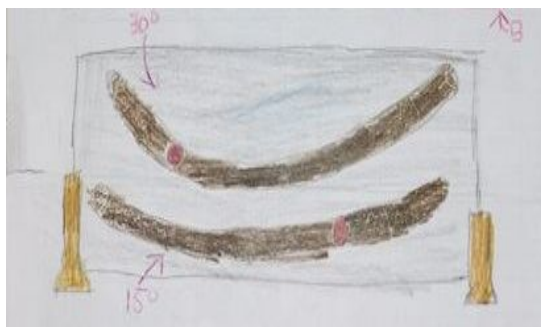
步驟一：將長 100 公分直徑 5.5 公分 PVC 管縱向對剖後，可產生兩個半圓管口之 PVC 管。

步驟二：在管長 50 公分處，加熱並順勢彎曲 PVC 管產生一個 U 型軌道。

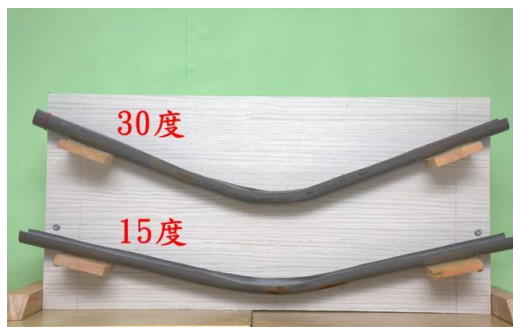
步驟三：用數位電子量角器量測 U 型軌道角度。

步驟四：取 PVC 管與木質板面(長 92 公分；寬 48 公分)黏合，如圖九。

步驟五：在木質板面加上底座使軌道面穩固。



圖八：U 型軌道設計圖



圖九：U 型軌道

(3)器材介紹與說明：

U 型軌道共有二種角度可供使用(如圖九)，實驗時將球置於軌道上用碼錶計時，藉著重力球體會在軌道上來回滾動，當球體靜止時碼錶也同時停止計時。為求實驗穩定性，每次僅能有一顆球，擇一軌道來進行實驗(如圖十~十一)。



圖十：球體在 30° U 型軌道滾動



圖十一：球體在 15° U 型軌道滾動

3.球體飛行器

(1)目地：藉由單擺在固定空間來回擺盪的想法，以光線投射在球體產生的陰影來計時飛行時間，取代量測球體在空中飛行的距離。

(2)製作步驟：

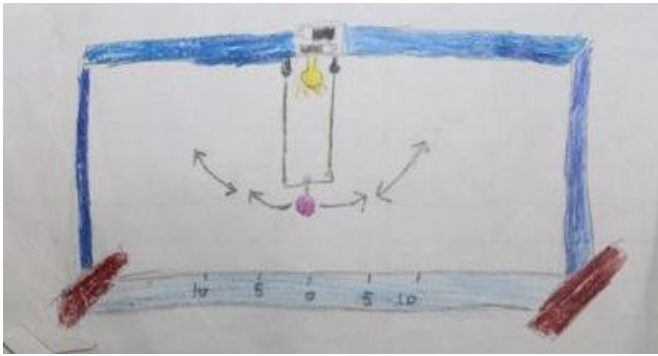
步驟一：將 A：長 92 公分；寬 8.5 公分桐木片一片，B：長 48 公分；寬 8.5 公分桐木片二片 C：長 31 公分；寬 8.5 公分桐木片二片，組合成一個口字型架。

步驟二：在水平木板(面朝下)長 46 公分處加一個燈泡。

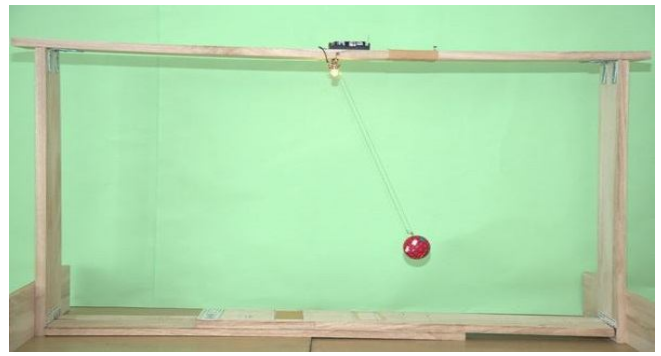
步驟三：與燈泡同側處加兩個問號型掛勾，繫上兩條擺線(30 公分)。

步驟四：以自製十字型架(如圖十六，橫向長 3.5 公分；垂直長 2 公分)連接擺線與球體。

步驟五：以掛勾處為圓心，以量角器標示出 10 度線與 20 度線區域(開始量測參考點)與 5 度線區域(停止量測參考點)。



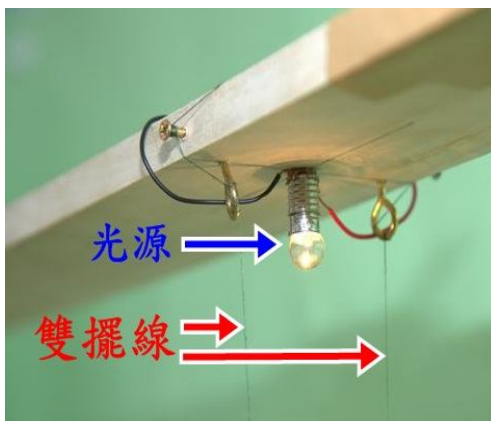
圖十二：球體飛行器設計圖



圖十三：球體飛行器

(3)器材介紹與說明：

利用單擺運動讓球來回擺盪，以模擬球體在空中飛行的環境，雖然可以在有限空間裡完成實驗，但因為實際量測高爾夫球所擺盪的累計距離仍然不容易，因此我們改為計算擺盪開始到結束的時間，擺盪的時間越久也等於擺盪的總距離越長。我們分以 10 度線與 20 度線為開始計時的基準位置，藉由光影投射的方式(如圖十五)，來觀察球體是否已在預定範圍擺盪，當球在接觸到 5 度線區域時則停止計時。



圖十四：雙擺線



圖十五：光影投射產生陰影



圖十六：以十字架連接擺線與球體



圖十七：實驗中，球體擺盪

三、實驗方法

(一)平面滾動實驗

1.實驗項目：

- (1)不同形狀的凹洞球體與光滑表面的球體，哪種在平面滾動的距離較遠？
- (2)在平面滾動距離的遠近與凹洞的深淺有關嗎？
- (3)在平面滾動距離的遠近與凹洞的大小有關嗎？
- (4)在平面滾動距離的遠近與凹洞的數量有關嗎？
- (5)在平面滾動距離的遠近與凹洞的分佈有關嗎？

2.實驗步驟：

- (1)把球放在斜坡軌道(共分為 15 度、30 度、45 度三種角度)。
- (2)將表面不同形狀的球體置於斜坡面上，每次都在固定的距離下藉由重力讓球從斜坡滾下。
- (3)滾動時的平面是推桿練習器的人工草皮，當球體靜止時記錄滾動的距離。
- (4)每種不同條件(形狀、深淺、大小、數量、分佈)的凹洞球體須各滾動 10 次。

(二)斜坡滾動實驗

1.實驗項目：

- (1)不同形狀的凹洞球體與光滑表面的球體，哪種在斜坡面上滾動的距離較遠？
- (2)在斜坡滾動距離的遠近與凹洞的深淺有關嗎？
- (3)在斜坡滾動距離的遠近與凹洞的大小有關嗎？
- (4)在斜坡滾動距離的遠近與凹洞的數量有關嗎？
- (5)在斜坡滾動距離的遠近與凹洞的分佈有關嗎？

2.實驗步驟：

- (1)把球放在自製的 U 型斜坡軌道(共有 15 度與 30 度兩種角度)。
- (2)每次都在固定的位置藉由重力讓球從斜坡滾下，並同時按下碼錶開始計時，當球體在軌道靜止時記錄靜止時間。
- (3)每種不同條件(形狀、深淺、大小、數量、分佈)的凹洞球體須各滾動 10 次。

(三)飛行距離實驗

1.實驗項目：

- (1)不同形狀的凹洞球體與光滑表面的球體，哪種飛行的距離較遠？
- (2)飛行距離的遠近與凹洞的深淺有關嗎？
- (3)飛行距離的遠近與凹洞的大小有關嗎？
- (4)飛行距離的遠近與凹洞的數量有關嗎？
- (5)飛行距離的遠近與凹洞的分佈有關嗎？

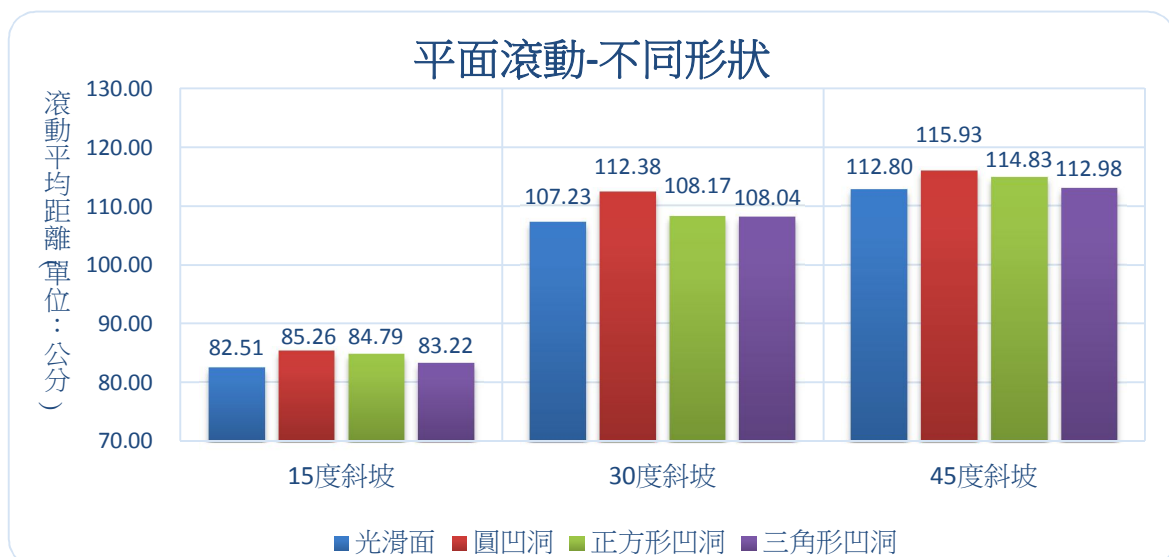
2.實驗步驟：

- (1)將球體置於自製的飛行器，每次都在固定的位置(共分 10 度線與 20 度線兩個區域)藉由重力讓球來回擺盪，並同時按下碼錶開始計時，當球體在 5 度線區域內擺盪時停止計時，記錄擺盪所花費的時間。
- (2)每種不同條件(形狀、深淺、大小、數量、分佈)的凹洞球體須各擺盪 10 次。

伍、研究結果

一、平面滾動實驗

(一)不同形狀的凹洞球體與光滑表面的球體，哪種在平面滾動時距離較遠？

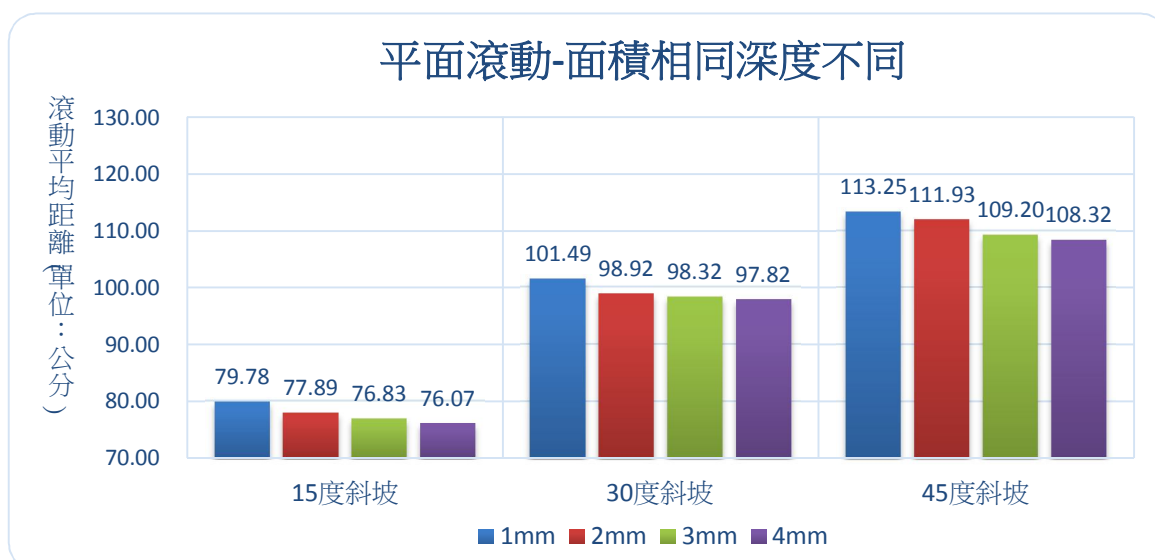


表五:平面滾動 10 次平均距離(公分)-不同形狀

| 凹洞形狀 | 15 度斜坡 | 30 度斜坡 | 45 度斜坡 | 名次 |
|-------------|--------------|---------------|---------------|----------|
| 光滑面 | 82.51 | 107.23 | 112.80 | 4 |
| 圓型凹洞 | 85.26 | 112.38 | 115.93 | 1 |
| 正方形凹洞 | 84.79 | 108.17 | 114.83 | 2 |
| 三角形凹洞 | 83.22 | 108.04 | 112.98 | 3 |

說明：我們調整不同的斜坡角度用來改變球體的下滑力，透過數據分析，隨著斜面角度變大，凹洞面的球體其滾動距離比光滑面的球體都還要長，其中又以表面是圓凹洞的球滾動最遠，雖然滾動距離差異不大，仍然可看出這樣的趨勢，所以球體表面光滑與否對滾動距離遠近是有影響的。

(二)平面滾動距離的遠近與凹洞的深淺有關嗎？

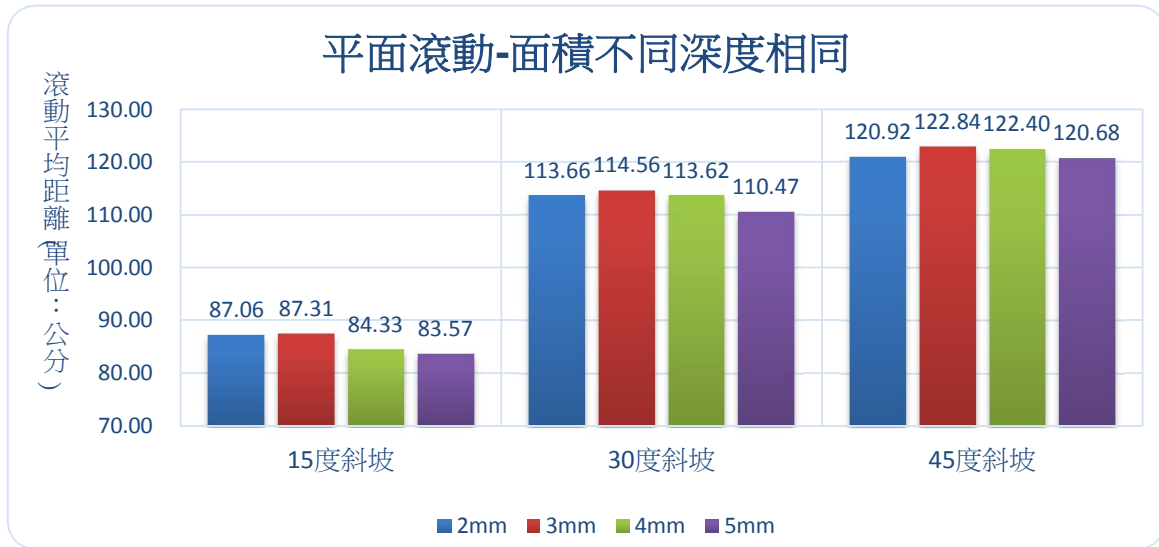


表六:平面滾動 10 次平均距離(公分)--面積相同深度不同

| 深度 | 15 度斜坡 | 30 度斜坡 | 45 度斜坡 | 名次 |
|-----|--------|--------|--------|----|
| 1mm | 79.78 | 101.49 | 113.25 | 1 |
| 2mm | 77.89 | 98.92 | 111.93 | 2 |
| 3mm | 76.83 | 98.32 | 109.20 | 3 |
| 4mm | 76.07 | 97.82 | 108.32 | 4 |

說明：實驗結果顯示，由 15 度斜坡滾下的球體，因凹洞的深淺而影響滾動距離的遠近並不是十分明顯，但是隨著下滑坡度增加為 30 度及 45 度時，凹洞的深度會影響球體在平面滾動距離的現象越來越明顯，深度越淺滾動的越遠。

(三)平面滾動距離的遠近與凹洞的大小有關嗎？

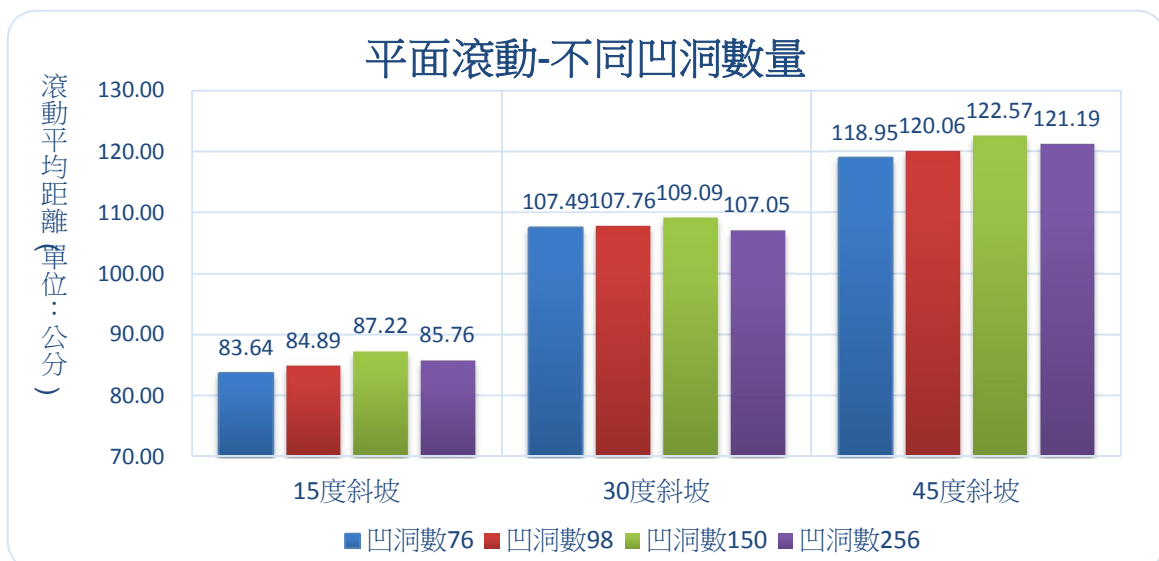


表七:平面滾動 10 次平均距離(公分)--面積不同深度相同

| 面積(直徑表示) | 15 度斜坡 | 30 度斜坡 | 45 度斜坡 | 名次 |
|----------|--------|--------|--------|----|
| 2mm | 87.06 | 113.66 | 120.92 | 2 |
| 3mm | 87.31 | 114.56 | 122.84 | 1 |
| 4mm | 84.33 | 113.62 | 122.40 | 3 |
| 5mm | 83.57 | 110.47 | 120.68 | 4 |

說明：由實驗結果顯示，面積在直徑 3mm 時球體在平面滾動時的距離可以有最佳表現，而凹洞直徑等於(2mm 與 4mm) 次之，當凹洞直徑大於等於 4mm 時,有面積越大滾動距離越近的現象。

(四)平面滾動距離的遠近與凹洞的數量有關嗎？

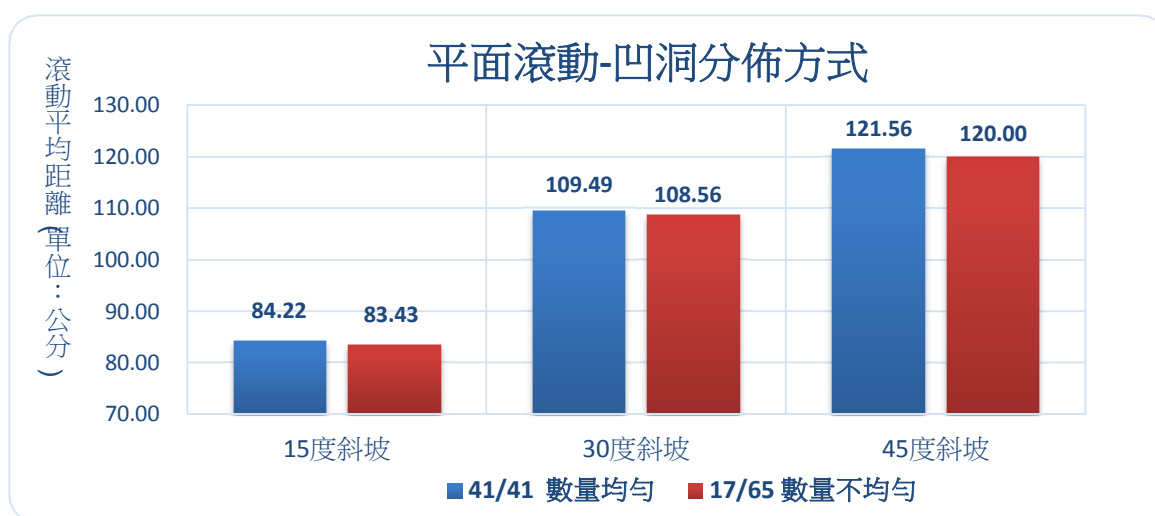


表八:平面滾動 10 次平均距離(公分)-不同凹洞數量

| 凹洞數量 | 15 度斜坡 | 30 度斜坡 | 45 度斜坡 | 名次 |
|------------|--------------|---------------|---------------|----------|
| 76 | 83.64 | 107.49 | 118.95 | 4 |
| 98 | 84.89 | 107.76 | 120.06 | 3 |
| 150 | 87.22 | 109.09 | 122.57 | 1 |
| 256 | 85.76 | 107.05 | 121.19 | 2 |

說明：滾動距離未因凹洞數量增加而增加，滾動距離在凹洞數 150 個左右的時候達到最遠距離，凹洞數在 150 個之後，滾動距離則變近。

(五)平面滾動距離的遠近與凹洞的分佈有關嗎？



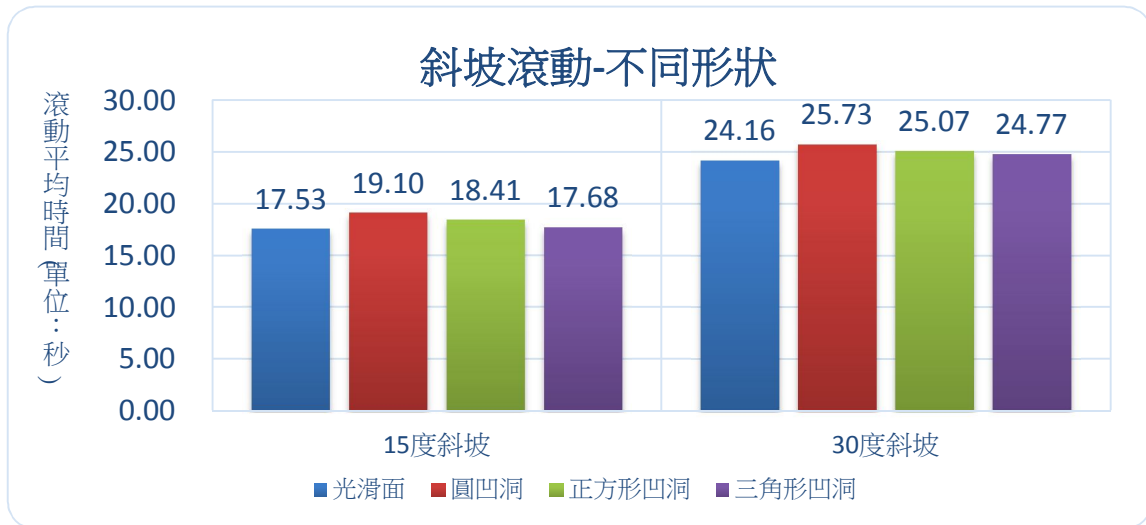
表九:平面滾動 10 次平均距離(公分)-分佈方式

| 分佈方式 | 15 度斜坡 | 30 度斜坡 | 45 度斜坡 | 名次 |
|---------------------|--------------|---------------|---------------|----------|
| 41/41 數量均勻分布 | 84.22 | 109.49 | 121.56 | 1 |
| 17/65 數量不均勻 | 83.43 | 108.56 | 120.00 | 2 |

說明：表面均勻分佈比不均勻分佈的球體在平面滾動時可以有較遠的滾動距離，因此凹洞均勻分佈與否對球體在平面滾動距離的遠近是有影響的。

二、斜坡滾動實驗

(一)不同形狀的凹洞球體與光滑表面的球體，哪種在斜坡面上滾動時距離較遠？

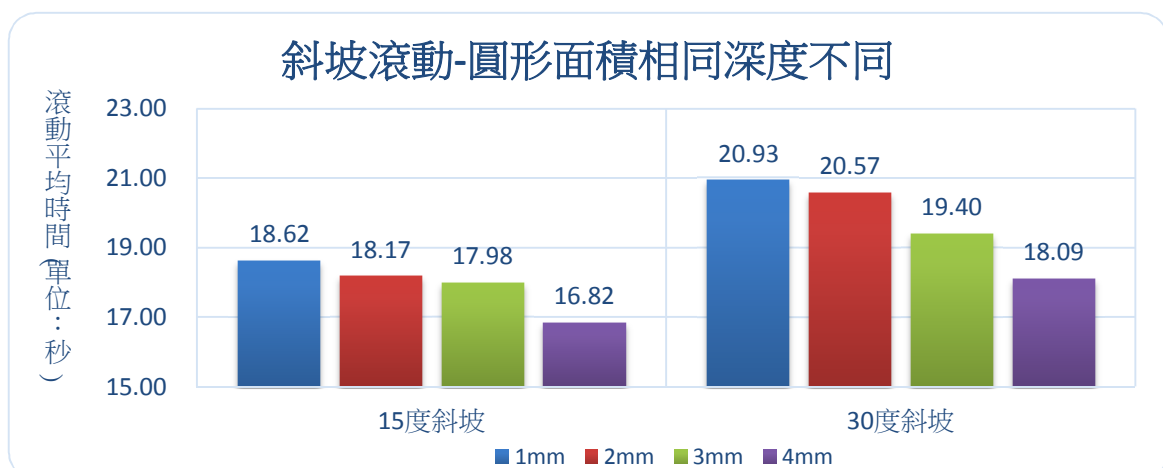


表十:斜坡滾動 10 次平均時間(秒)-不同形狀

| 凹洞型狀 | 15 度斜坡 | 30 度斜坡 | 名次 |
|-----------|--------------|--------------|----------|
| 光滑面 | 17.53 | 24.16 | 4 |
| 圓凹 | 19.10 | 25.73 | 1 |
| 正方凹 | 18.41 | 25.07 | 2 |
| 三角凹 | 17.68 | 24.77 | 3 |

說明：以不同的彎曲角度的 PVC 管來改變球體下滑力，透過數據分析，光滑面的球體，從開始滾動到停止時所花的時間比有凹洞的球都還要短，換成距離概念則是滾動距離較短，這結果顯示球體表面的光滑與否對斜坡滾動距離遠近是有影響的，其中以圓形凹洞的設計表現最好。

(二)斜坡滾動距離的遠近與凹洞的深淺有關嗎？

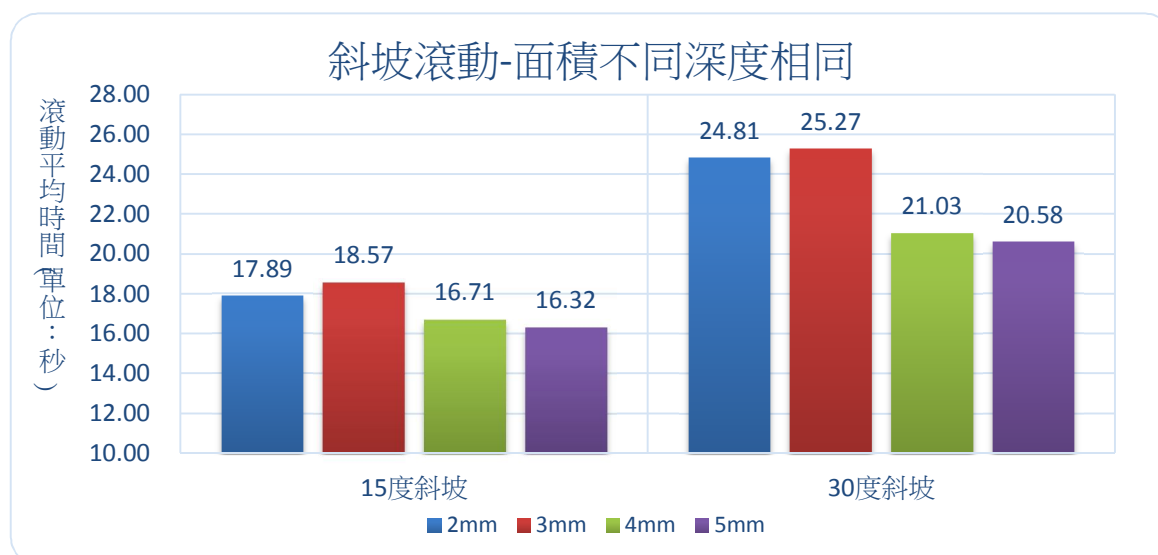


表十一:斜坡滾動 10 次平均時間(秒)-面積相同深度不同

| 凹洞深度 | 15 度斜坡 | 30 度斜坡 | 名次 |
|------------|--------------|--------------|----------|
| 1mm | 18.62 | 20.93 | 1 |
| 2mm | 18.17 | 20.57 | 2 |
| 3mm | 17.98 | 19.40 | 3 |
| 4mm | 16.82 | 18.09 | 4 |

說明：從數據顯示，深度的不同會影響滾動的時間長短，深度越淺滾動的時間越長。這 4 種深度以 1mm 深度的球體表最佳，所以滾動距離的遠近與凹洞的深淺是有關。

(三)斜坡滾動距離的遠近與凹洞的大小有關嗎？

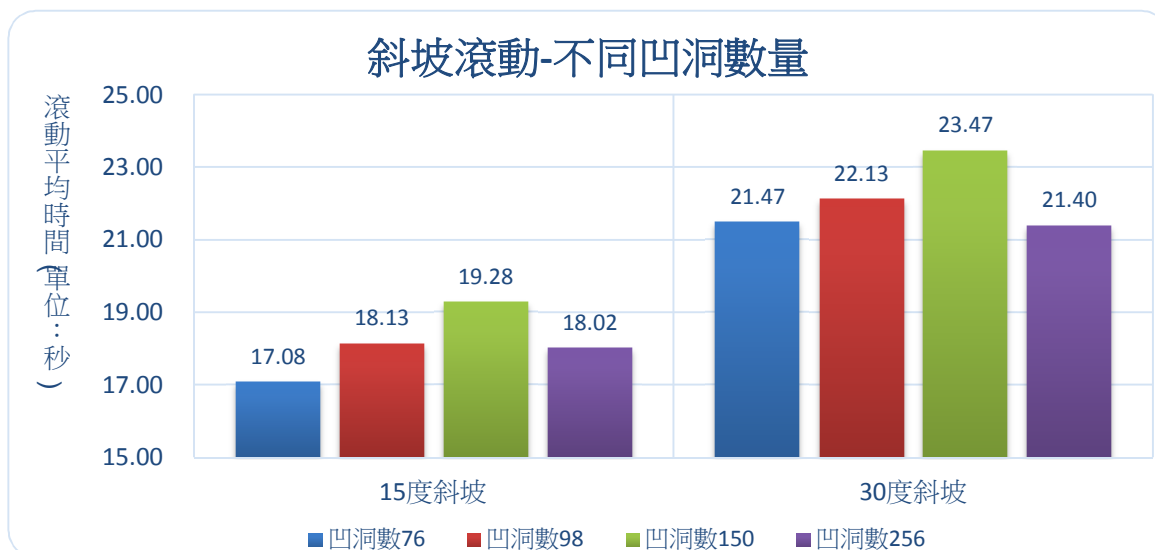


表十二:斜坡滾動 10 次平均時間(秒)-面積不同深度相同

| 面積大小(直徑表示) | 15 度斜坡 | 30 度斜坡 | 名次 |
|------------|--------------|--------------|----------|
| 2mm | 17.89 | 24.81 | 2 |
| 3mm | 18.57 | 25.27 | 1 |
| 4mm | 16.71 | 21.03 | 3 |
| 5mm | 16.32 | 20.58 | 4 |

說明：從數據顯示，面積的大小同樣地也會影響滾動的時間長短，球體直徑介於 2mm~3mm 的球體滾動的時間較長，但是，當球體直徑長度大於等於 4mm 時，滾動時間就變短，這四種直徑以長度 3mm 滾動為時間最長。

(四)斜坡滾動距離的遠近與凹洞的數量有關嗎？

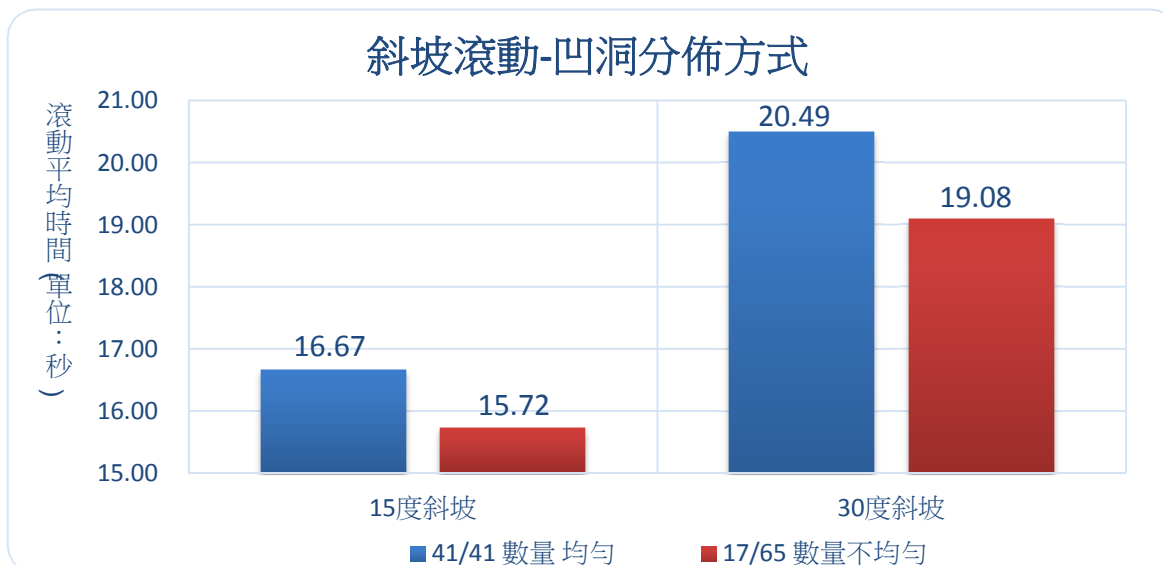


表十三: 斜坡滾動 10 次平均時間(秒)-不同凹洞數量

| 凹洞個數 | 15 度斜坡 | 30 度斜坡 | 名次 |
|------------|--------------|--------------|----------|
| 76 | 17.08 | 21.47 | 4 |
| 98 | 18.13 | 22.13 | 2 |
| 150 | 19.28 | 23.47 | 1 |
| 256 | 18.02 | 21.40 | 3 |

說明：滾動時間在凹洞數量 150 個時出現轉折，數量越多滾動時間變少，由此一結果推測，高爾夫球表面凹洞未必可幫助球體在斜坡滾動上有較遠距離表現。

(五)斜坡滾動距離的遠近與凹洞的分佈有關嗎？



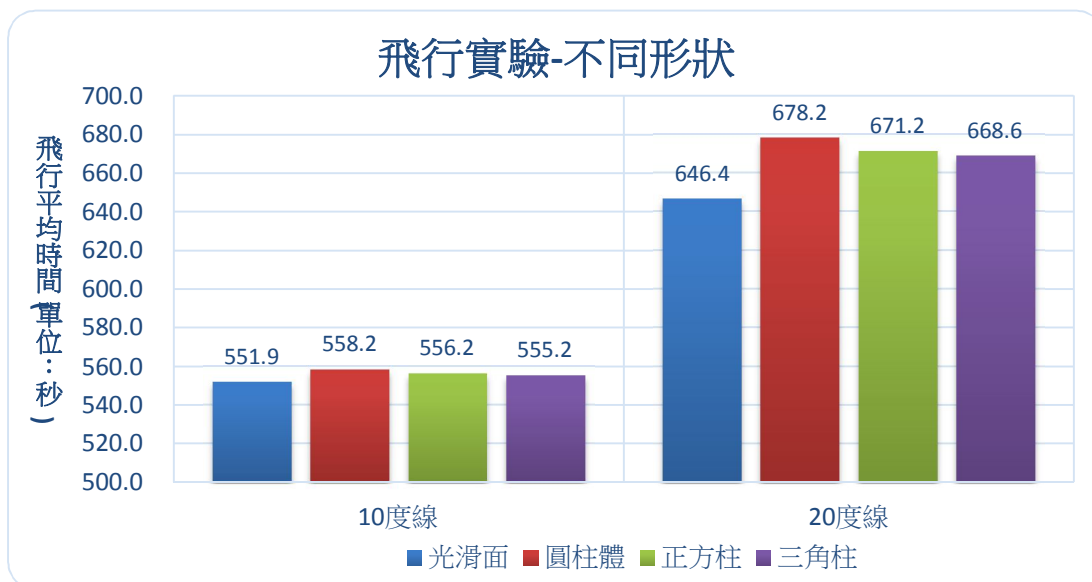
表十四: 斜坡滾動 10 次平均時間(秒)-凹洞分佈方式

| 分佈方式 | 15 度斜坡 | 30 度斜坡 | 名次 |
|-------------------|--------------|--------------|----------|
| 41/41 數量均勻 | 16.67 | 20.49 | 1 |
| 17/65 數量不均勻 | 15.72 | 19.08 | 2 |

說明：凹洞在球體表面均勻分佈時，在斜坡滾動中可以有較遠的滾動距離表現，由結果顯示，凹洞是否均勻分佈對球體在斜坡滾動是有影響的。

三、飛行距離實驗

(一)不同形狀的凹洞球體與光滑表面的球體，哪種飛行距離遠？

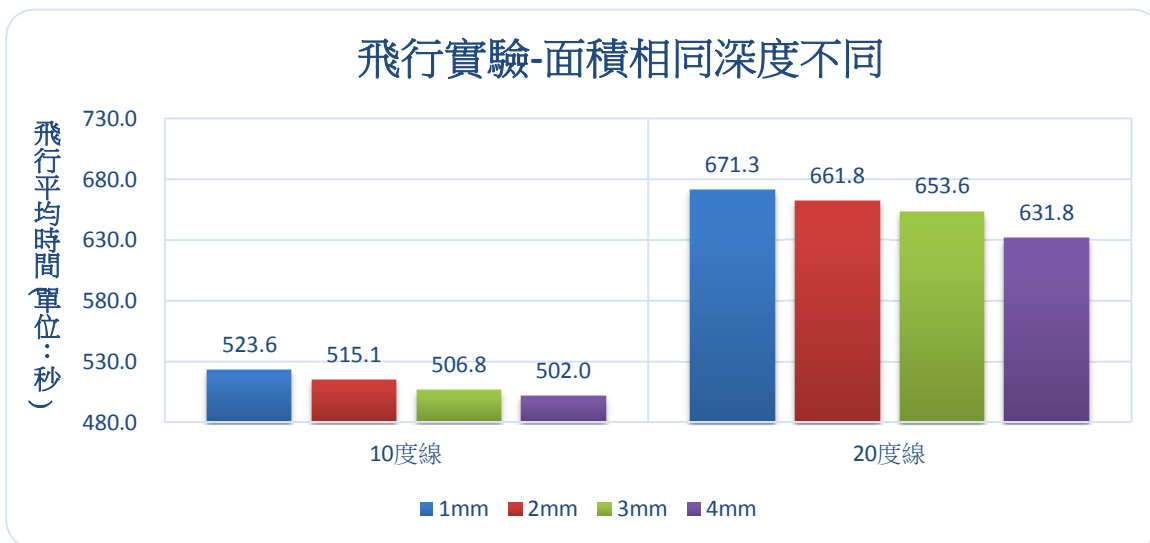


表十五:飛行 10 次平均時間--凹洞形狀

| 凹洞形狀 | 10 度線 | 20 度線 | 名次 |
|------------|--------------|--------------|----------|
| 光滑面 | 551.9 | 646.4 | 4 |
| 圓柱體 | 558.2 | 678.2 | 1 |
| 正方柱 | 556.2 | 671.2 | 2 |
| 三角柱 | 555.2 | 668.6 | 3 |

說明：從實驗結果顯示，非光滑表面的球體擺盪到 5 度線區域所花費時間比表面是光滑的球體還要來的長，其中又以圓柱體所花費的時間最長，所以表面光滑與否是會影響飛行時間長短的。

(二)飛行距離的遠近與凹洞的深淺有關嗎？

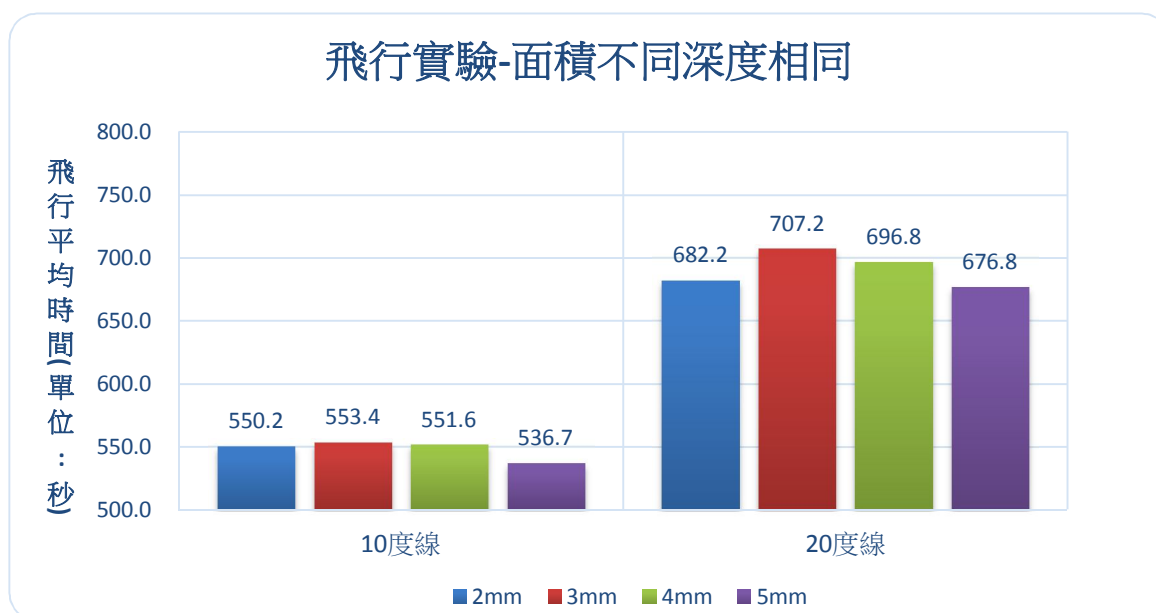


表十六:飛行 10 次平均時間--面積相同深度不同凹洞

| 凹洞深度 | 10 度線 | 20 度線 | 名次 |
|------|-------|-------|----|
| 1mm | 523.6 | 671.3 | 1 |
| 2mm | 515.1 | 661.8 | 2 |
| 3mm | 506.8 | 653.6 | 3 |
| 4mm | 502.0 | 631.8 | 4 |

說明：光滑與否是會影響飛行時間長短的，但凹洞深淺是否會影響飛行時間？從實驗結果發現凹洞越淺飛行時間越長。

(三)飛行距離的遠近與凹洞的大小有關嗎？

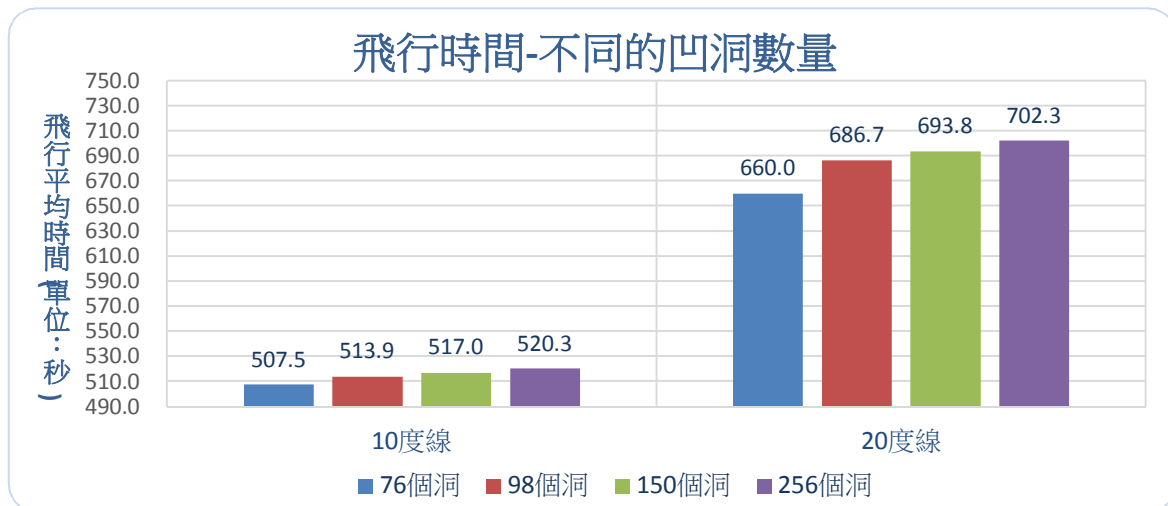


表十七:飛行 10 次平均時間--面積不同深度相同凹洞

| 凹洞直徑 | 10 度線 | 20 度線 | 名次 |
|------------|--------------|--------------|----------|
| 2mm | 550.2 | 682.2 | 3 |
| 3mm | 553.4 | 707.2 | 1 |
| 4mm | 551.6 | 696.8 | 2 |
| 5mm | 536.7 | 676.8 | 4 |

說明：面積大小以直徑 3mm~4mm 的球體擺盪時間較長，其中以 3mm 擺盪時間最長，5mm 最短。

(四)飛行距離的遠近與凹洞的數量有關嗎？



表十八：凹洞間隔與數量關係

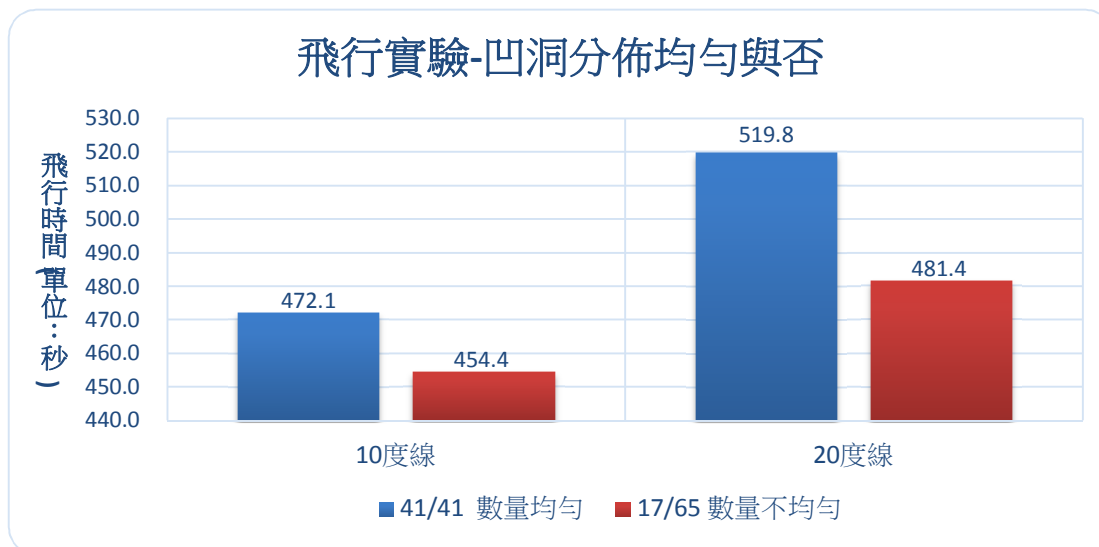
| 凹洞間隔距離 | 凹洞數 |
|--------|-----|
| 約 1mm | 256 |
| 約 2mm | 150 |
| 約 3mm | 98 |
| 約 4mm | 76 |

表十九:飛行 10 次平均時間--不同凹洞數量

| 凹洞個數 | 10 度線 | 20 度線 | 名次 |
|------------|--------------|--------------|----------|
| 76 | 507.5 | 660.0 | 4 |
| 98 | 513.9 | 686.7 | 3 |
| 150 | 517.0 | 693.8 | 2 |
| 256 | 520.3 | 702.3 | 1 |

說明：從數據分析，飛行時間的長短與凹洞數量的多寡有關係，凹洞數越多飛行時間越長，同時凹洞數與凹洞間隔有關(如表十八)，凹洞數量越多間隔距離也越小，這也難怪高爾夫球表面的凹洞間距是如此的接近。

(五)飛行距離的遠近與凹洞的分佈有關嗎？



表二十:飛行 10 次平均時間--凹洞分佈均勻與否

| 分佈方式 | 10 度線 | 20 度線 | 名次 |
|-------------|-------|-------|----|
| 41/41 數量均勻 | 472.1 | 519.8 | 1 |
| 15/67 數量不均勻 | 454.4 | 481.4 | 2 |

說明：從數據分析，飛行時間的長短與凹洞分佈均勻與否有關係，上圖所示凹洞均勻分佈的球在總數為 82 的條件下，凹洞數比為(41:41)的球比凹洞數比為(15:67)的球可有較長飛行時間，所以均勻分布的凹洞是可以讓高爾夫球飛行較遠的。

陸、討論

- 一、閱讀高爾夫球的相關文獻與網路資料後我們才了解，其實高爾夫球最初的設計是光滑面的外型，但後來有球員發現外表凹陷的舊球其實比新球飛的更遠，廠商因而才開始研發有凹洞(dimple)表面的高爾夫球。
- 二、在平面滾動實驗裡，我們藉由重力與調整斜坡軌道的角度來產生不同下滑力，其優點是每顆球體在每次被驅動時的力量都會一致，這樣可減少成實驗誤差，同時，斜坡軌道設計需考慮以略帶弧度方式與草皮連接，如此可避免球體由軌道進入草皮面時所造成的不穩定現象，如：跳動。
- 三、斜坡滾動實驗中的 U 型軌道具有小空間就可模擬斜坡滾動環境的優點，藉著重力就可讓球體在斜面來回滾動，有著空間小方便觀察與量測的便利性。
- 四、利用單擺運動的優點是可使用較小的空間來模擬球體的飛行，在實驗初期使用一條擺線進行實驗時，我們發現在擺盪過程中球體會自轉而無法像單擺在同一個垂直面擺盪而造成實驗的誤差，因此使用雙擺線（如圖十四）並以十字金屬架連接擺線與球體（如圖十六），克服了這問題，避免此現象再發生，增加擺盪過程的穩定性。
- 五、在斜坡滾動實驗與飛行距離實驗裡，我們以量測時間的方式取代距離的量測，來獲得球體運動的距離，這樣的方式解決了高爾夫球在來回滾動或擺盪時，要實際量測累進距離的不方便性。
- 六、從平面滾動(一)或是斜坡滾動(一)實驗數據分析，有凹洞的球體可以有較遠的滾動距離，這樣的現象應該與摩擦力也是有關係的，值得我們在未來對此一現象再做更深入的了解與探討。
- 七、分析飛行實驗(一)結果後我們發現，有凹洞的球體擺盪時間較長，換句話說擺盪飛行的距離也較遠，所以球體上的凹洞是可減少球體飛行時的阻力，延長球體在空中停留的時間。
- 八、取表面不同**形狀**的凹洞球體，在完成球體平面滾動(一)、斜坡滾動(一)與飛行實驗(一)的後，分析數據發現有凹洞的球體比表面光滑的球體，在距離上不但滾的遠，同時也需花較長的時間從 10 度線區域與 20 度線區域縮小至 5 度線區域擺盪，其中又以圓型凹洞表現最佳(圓凹>正凹>三凹>光滑面)。

- 九、當固定形狀（圓型凹洞）改變**凹洞深度**時，在深度越淺時滾的越遠同時也有較長的飛行時間，但礙於工具精準度，我們對於最淺深度只能探究到 1mm。在參考文獻[1] 表十二結果顯示，球體凹洞深度在 2mm 會有最遠飛行距離，但從研究結果顯示，凹洞深度不會在 2mm 有最遠飛行表現，且此一實驗結果與實際市售之高爾夫球深度 (0.04mm) 小於 1mm 是接近的。
- 十、**面積**的大小同樣地也會影響滾動與飛行距離的長短，但並非在直徑越短時就會有最佳的表現，而是在凹洞直徑約 3mm 時出現轉折，數據顯示，在這樣的條件下可讓球體飛的最遠也可有較長的滾動距離。
- 十一、球體表面**凹洞數量**越多（間隔愈密）未必可滾動越遠。凹洞數越多雖可飛行較遠，但從滾動實驗發現，滾動距離遠近未因間距越小而越好，所以推測高爾夫球表面有凹洞是為了能讓球飛的遠而不是滾的遠。此外，在參考文獻[1] 表八的結果(球體凹洞間隔在 2mm 會有最遠飛行距離)也與市售高球的間距有差異，但此次的實驗結果與市售高爾夫球間距設計(1mm)的原因接近。
- 十二、在**凹洞分佈**方式實驗裡，球體表面的凹洞數量分佈若是對稱，不管是在飛行距離與滾動距離表現上都比表面凹洞不對稱分佈的球體要來的好，所以分佈對稱與否也影響球體的表現。
- 十三、根據平面滾動實驗、斜坡滾動實驗與飛行距離實驗結果，推測高爾夫球的**最佳設計**在凹洞外觀除了要圓形之外，凹洞大小其直徑需界於 2mm 與 4mm 之間、深度也需小於 1mm，間距接近要 1mm，同時也要均勻分布，如此條件下可以有最長的飛行距離表現，而這個結果與(表二)所列的數據接近。

柒、結論

在本次的研究我們利用靜止、重力與光的直線傳播等物理原理設計了斜坡軌道(平面滾動實驗)、U 型軌道(斜坡滾動實驗)以及球體飛行器(飛行距離實驗)，以量測時間差代替距離的概念，對高爾夫球表面凹洞是否影響飛行距離與滾動距離表現做了探討，我們的研究方法有著減少因空間與氣流因素而造成實驗的不便性與複雜性的優點。由實驗結果顯示，凹洞對球體滾動時雖可有較佳的距離表現外，但更重要的，凹洞影響飛行表現才是設計主因，凹洞的形狀、大小、深度、數量與分佈都影響球體的運動距離遠近的表現，同時也藉由這些變因的探討與實驗，推測出高爾夫球最佳設計的數據，因而解開圓型凹洞的祕密。

捌、參考文獻

網路資料：

- 1.何政瑜、張博雅，『小洞洞，大學問』－高爾夫球面之探討，中華民國第 36 屆中小學科學展覽會，取自：<http://www.ntsec.gov.tw/User/Article.aspx?a=119>。
- 2.科學應用-高爾夫球酒窩增加飛行助力，posted by YHC Tuesday, December 06, 2005，取自：<http://azyhc.blogspot.tw/2005/12/blog-post.html>。
- 3.高爾夫球的奧秘 球面凹槽的作用，取自：<http://golf.ifeng.com/DrivingR/Equipment/ball/2010-03-22/88308.html>。
- 4.維基百科--高爾夫球的歷史，取自：<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%AB%98%E5%B0%94%E5%A4%AB%E7%90%83%E5%8E%86%E5%8F%B2>。
- 5.維基百科--重力，取自：<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%B8%87%E6%9C%89%E5%BC%95%E5%8A%9B>。
- 6.高球點滴 - Physartrain 90's Golf School 體藝 90's 高爾夫球學校，取自：<http://www.golf90s.com/golfintro.htm>。

書籍資料：

- 7.國民小學四下自然與生活科技〈2012〉。翰林出版事業股份有限公司。
- 8.簡麗賢〈2013〉。為什麼高爾夫球面都是小凹洞。載於**生活物理 SHOW!**〈27~33 頁〉，幼獅文化事業股份有限公司。
- 9.休伊特〈2008〉，觀念物理一，P103，天下遠見出版股份有限公司。

【評語】 080101

本作品以高爾夫球為發想，探究圓球表面凹陷點的形狀、大小、深淺、數量與分佈等變因對於平面與斜面上的滾動以及懸吊擺動的影響，已有初步的定量分析，宜就選定的探究主題做更詳細深入的探究，無需拘泥於高爾夫球的飛行方式。