

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

探究精神獎

051901

大珠小珠落玉盤-探討月球隕石坑之成因

學校名稱：南投縣立旭光高級中學

作者： 高二 李昀容 高二 莊于萱 高二 廖心瑜	指導老師： 張義煉 李佩樺
---	-----------------------------

關鍵詞：投石機、撞擊、月球隕石坑

摘 要

可利用 Tracker 軟體成功量化斜拋鋼珠之 X 軸及 Y 軸的分量速度。斜拋撞擊接觸面實驗：小粒徑材質，鋼珠越重則寬深比值越大且形似橢圓；中粒徑材質，鋼珠越大坑洞寬深比愈小，大粒徑材質，在 120°角度時鋼珠越大則坑洞寬深比愈小。接觸面為小粒徑砂石加上麵粉其比例為 2：1 形成混合層鋼珠為 16mm 時，其拋體運動所形成的坑洞寬深比與隕石坑相似。自由落體實驗結果皆為鋼珠粒徑愈大其寬深比值越大，接觸面為小粒徑材質時寬深比大小差異不大，且相較於斜拋之寬深比小許多，較近似月球隕石坑之實際寬深比值；接觸面積為小粒徑加上麵粉則呈現出測量坑洞的深度趨於一致，且寬度則與重量大小正相關。

壹、研究動機

進了高中之後參觀了科學館內設置的天文台、星象教室及天文望遠鏡等等，有次社團活動課時，有幸的進了星象教室參與了第一次的模擬夜晚星空的天文課程，當時老師使用天文望遠鏡帶我們觀看關於地球唯一的一顆天然衛星-月球的表面，發現表面有許多坑洞，對於這些坑洞的形成原因，我們很有興趣想去了解，於是我們上網查了些資料，資料顯示這些坑洞大多是由隕石撞擊形成。坑洞可分為幾種類型，例如：ALC、BIO、SOS、TRI、TYC...等等，而造成這些不同類型的坑洞的原因可能是接觸與被接觸面的材質、大小、發射角度等等，所以我們在天文社團課的幾位成員即決定要以發射角度、接觸面材質等面向來切入研究月表面之坑洞。關於入射角度的問題，剛好學校物理課程時有教到斜拋運動，旋即決定所學的知識學以致用，利用它模擬在甚麼角度及速度下造成的坑洞大小及深度與月球上的坑洞大致相符。我們團隊亦利用學校之天文設備來觀察與拍攝月相且觀察月相上的隕石坑，企圖探究與了解月球與它那些隕石坑的祕密。

















貳、研究目的

- 一、 嘗試模擬與定量化隕石之撞擊速度。
- 二、 模擬與探討隕石各項物理量對撞擊坑洞大小與型態的影響。
- 三、 探討斜拋運動和自由落體對撞擊坑大小及型態的影響
- 四、 探究與比較模擬之隕石坑與實際觀察之月球隕石坑洞之異同。

參、研究設備與器材

- 一、 **實驗器材與藥品**：大小研鉢、各色粉筆、美工刀、筆、尺、白膠、壓舌棒、筷子、布、迴紋針、棉線、鉗子、夾子、砂紙、黏土、鋼珠、橡皮筋、熱熔膠條、熱熔膠槍、砂石土、麵粉、塑膠盆。
- 二、 **儀器設備**：攝影機、手機、天文望遠鏡、冰箱、電腦、搖篩機。
- 三、 **測量工具儀器**：電子天平、捲尺、自製投石機。
- 四、 **使用軟體**：Microsoft Excel、Microsoft Word、Tracker。(部分設備與器材如表 1)

表 1、部分實驗器材及設備一覽表。

實圖				
名稱	直尺	鑷子	輔助墊	篩網
說明	測量長、寬	夾鋼珠	維持水平面	麵粉過篩
實圖				
名稱	量角器	自製量深器	刮勺	自製投石機
說明	測量射出角度	測量坑洞深度	填補坑洞	投鋼珠
實圖				
名稱	大粒徑砂石	過篩網	搖篩機	電子天平
說明	接觸面	砂石過篩	加速過篩	測重量
實圖				
名稱	數位相機	粉筆粉	天文望遠鏡	低筋麵粉
說明	拍攝月相	輔助觀察	觀察月相	接觸面

肆、研究步驟與方法

我們確立要製備並探究月球隕石坑這個主題之後，便開始著手蒐集相關資料，我們根據此次的研究目的與所欲探討之主題，我們設計實驗步驟與流程圖（圖 1）如下：

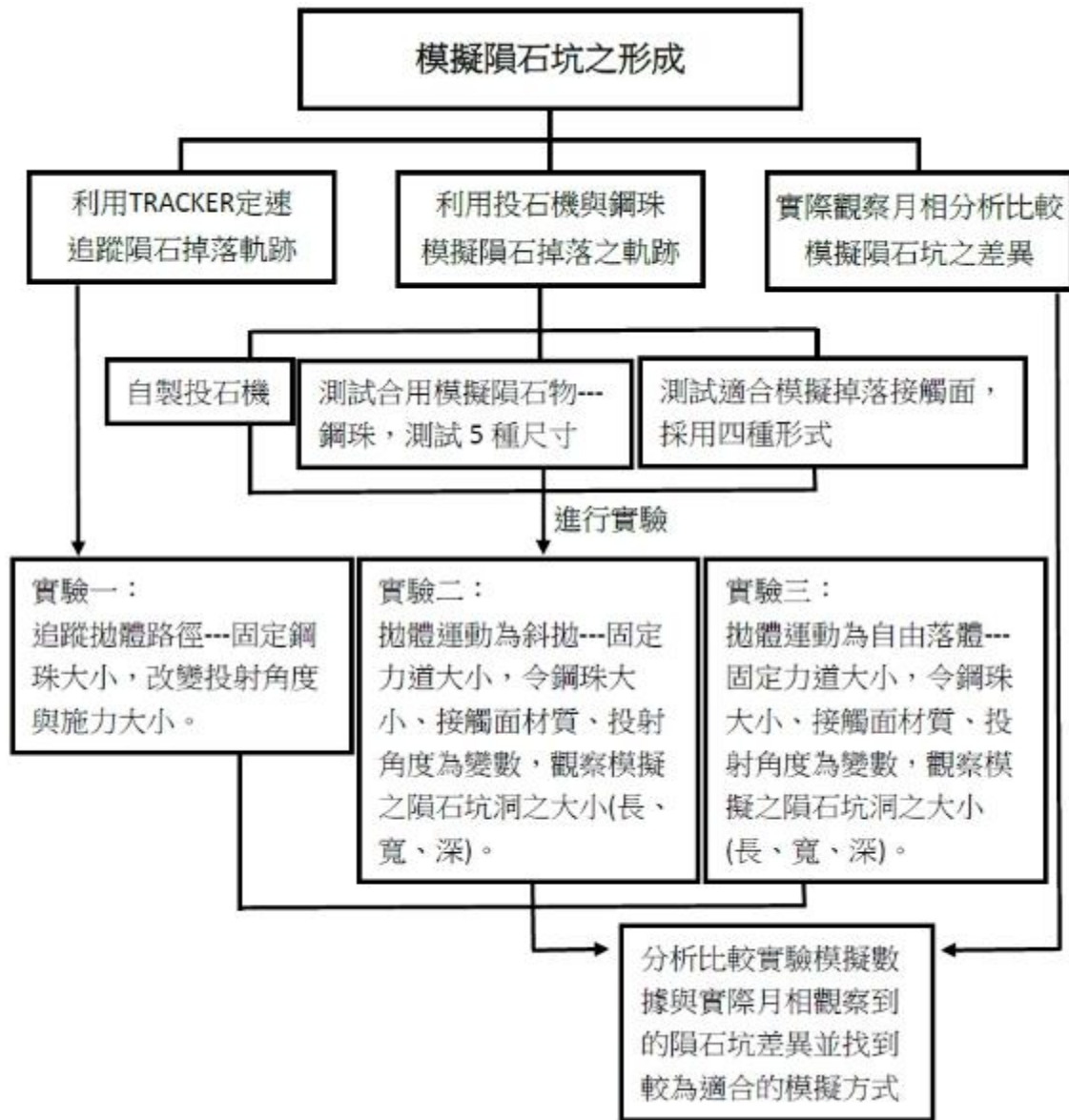


圖 1、實驗流程圖。

一、隕石坑成因之探討。

(一)隕石是以大約 15Km/sec 之速度撞擊地面，其動能以衝擊波形式向下傳遞至地岩，動能再向上傳至隕石本身，衝擊波能量以接觸點為中心與距離平方成反比，如以下之情形：

1. 汽化：巨大的能量把地岩在接觸點，巨大的能量會把地岩與隕石汽化，產生蕈狀雲向上升後向外膨脹，雲內含地岩及隕石的碎片與熔岩。
2. 溶化：距離稍大處，地岩與隕石溶化成熔岩，成分為二者的混合。外圍熔岩與岩石碎屑向外濺射至遠處。
3. 破碎位移：地岩碎裂成角礫，隨熔岩漿流動移位。

4. 破裂：地岩被震波震裂，造成上層較細下層較粗的角礫，但仍留於原處，且部分角礫仍可互相嵌合成原來的狀況。
5. 破裂錐：衝擊波與反彈波共同作用，地岩中較硬母岩表面形成錐狀條痕，錐頂指向撞擊中心。
6. 隕石坑形成：由於汽化及濺射，質量耗損，地岩形成一半球形之隕石坑，坑內有熔岩及角礫，及由蕈狀雲中落回的較細碎屑，岩漿冷卻後，膠結為衝擊凝灰角礫岩構成隕石坑的底部；坑緣則因震波而稍向上突起，上覆碎屑及濺出的岩漿。

(二)簡而言之，其衝擊波能量是以接觸點為中心，與距離平方成反比，造成了汽化、溶化、破碎位移及破裂等現象，其坑洞形成的過程如圖 2 所示。

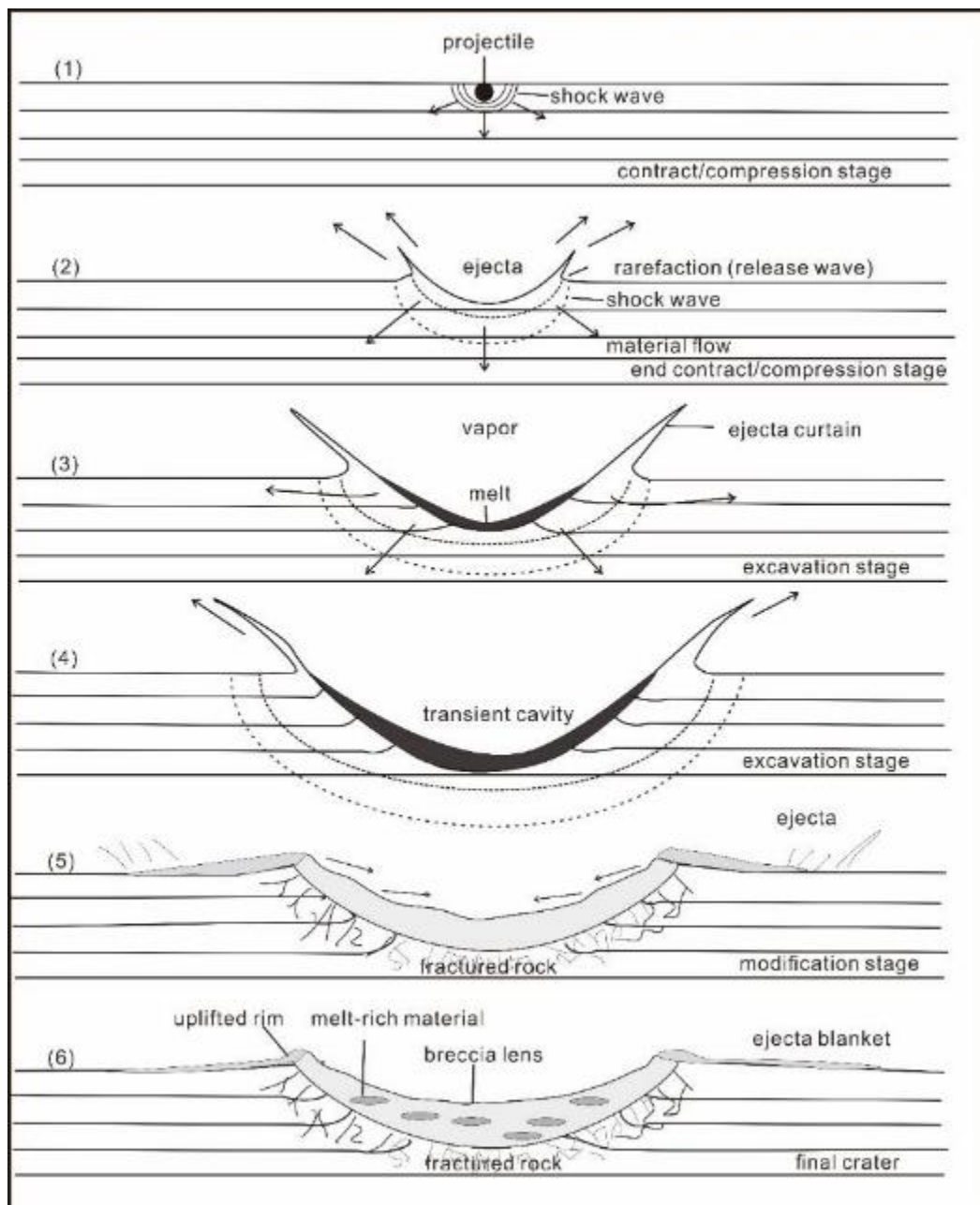


圖 2、隕石坑形成之過程。

二、 模擬與定量隕石運動速度，先利用 Tracker 定速追蹤鋼珠掉落之軌跡。

(一) 學習 Tracker 軟體之操作。

1. Tracker 具有的影像追蹤軌跡之功能。
2. Tracker 亦具有運動模擬功能。
3. 藉由此軟體之操作可以追蹤模擬隕石坑掉落之軌跡，觀測掉落所形成坑洞大小；並進一步分析比較利用高倍望遠鏡看到月相上隕石坑之形成。

(二) 建立一個可供量度的時空座標和尺規。

1. 測試軌跡追蹤效果，利用搭建一綠色布幕當背景之錄影基準尺規及座標軸參考點，將所建置完成之投石機（圖 3 所示）將 1 鋼珠放入投石籃中。
2. 取好固定距離（2.0 公尺處）以三腳架設好一錄影機。
3. 將已固定角度之投石機放開其固定插梢，將小鋼珠投出並同時錄製影片。
4. 將錄好之影片代入 Tracker 分析如圖 4。

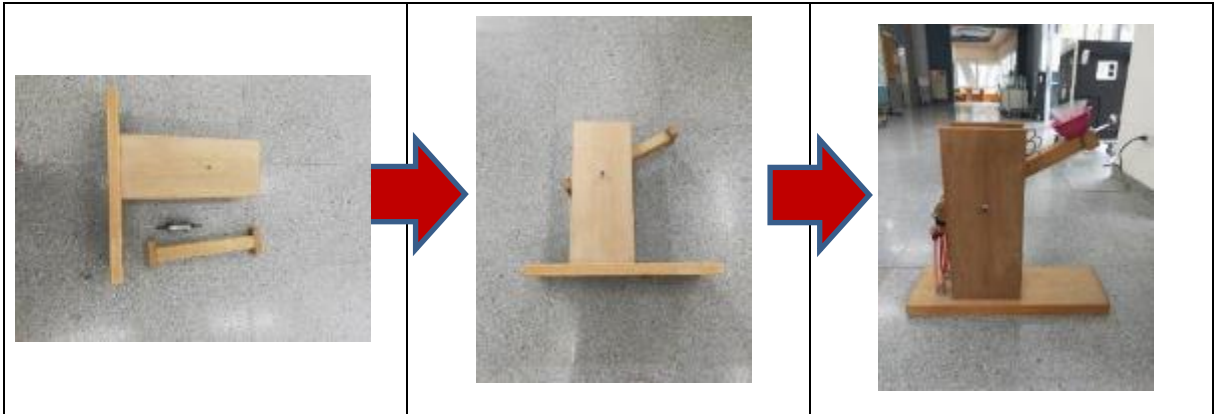


圖 3、第 1 代投石機製作圖。

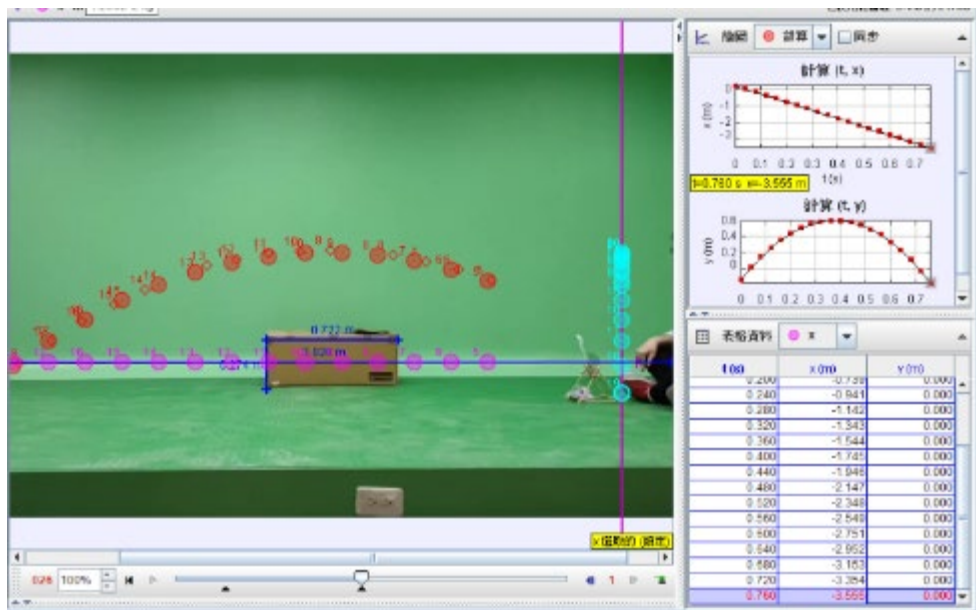


圖 4、Tracker 顯示水平與垂直距離與軌跡的改變。

5. 擬合拋體運動軌跡方程式並得知落地之斜率，即可知道其落地角度（圖 5）。
6. 路徑顯示，t 與 y 之軌跡與 t 與 x 之軌跡（圖 6）。
7. 而我們將 X 軸之位移距離除以時間即可得到 X 方向之速度，而將 Y 軸之位移距離除以時間即可得到 Y 方向之速度，因此將可成功得到 X、Y 之分量速度。

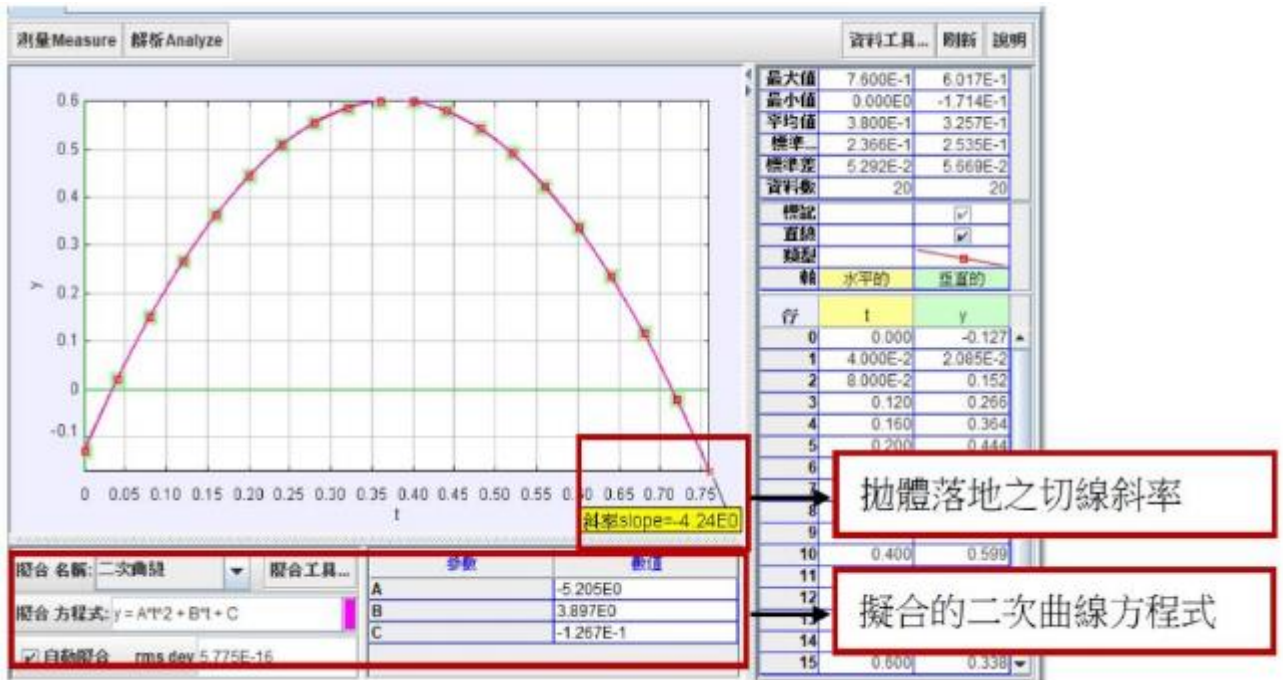


圖 5、Tracker 顯示擬合的二次曲線方程式與拋體落地之切線斜率。



圖 6、Tracker 路徑說明圖示。

三、 利用自製投石機模擬隕石因不同發射角度與不同力量掉落之水平距離、形成洞孔之表面直徑與深度探討。

(一) 製作室內型(2代)可調整發射角度與力道之投石機(圖7)。

1. 以竹筷子綁橡皮筋製作牢固的基座，藉由熱熔膠連結接觸點。
2. 利用插梢固定鋼球位置。
3. 發射角度：分為 30° 、 60° 、 90° 、 120° 、 150° 。利用量角器固定於投石機之發射處，以利拋物對準角度。
4. 利用相同橡皮筋的條數控制發射鋼珠的力道，分別實驗 2、3、4、5 條。

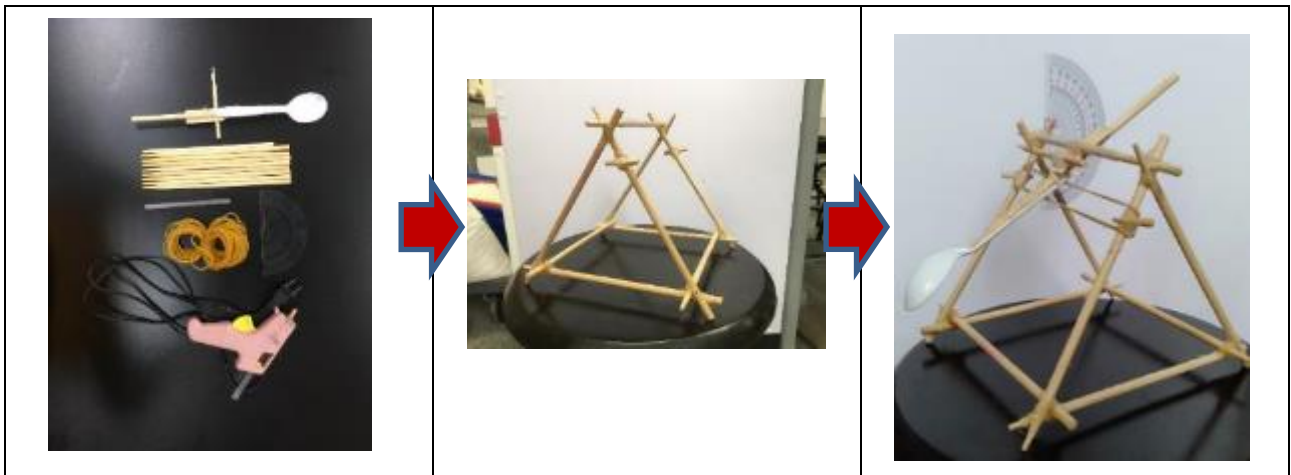


圖 7、室內型投石機之製作。

(二) 尋找適合的投擲物體(圖8)。

1. 嘗試彈力橡皮球、黏土、紙團、高爾夫球、鋼珠等等，發現最適合的操作拋體為鋼珠，其優點為具有固定重量且有大小不同的尺寸可藉以比較分析。
2. 鋼珠尺寸與重量為 8mm(1.5g)、10mm(4g)、12 mm(5.5g)、14 mm(11g)、16 mm(17g)。


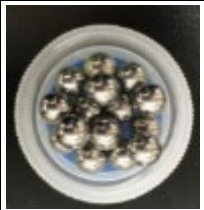


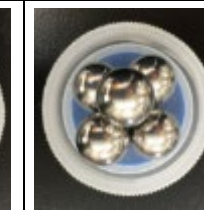
實圖					
名稱	鋼珠(8mm)	鋼珠(10mm)	鋼珠(12mm)	鋼珠(14mm)	鋼珠(16mm)
說明	模擬隕石	模擬隕石	模擬隕石	模擬隕石	模擬隕石

圖 8、各種尺寸規格之鋼珠。

(三) 實驗合適的模擬掉落接觸面之材料。

1. 是經由文獻查詢顯示，隕石坑多為表面直徑大卻不深，例如：月球上最大、最古老且深度最深的隕石坑「南極—艾托肯盆地」(South Pole - Aitken basin)，這個隕石坑由前蘇聯發

射的月球 3 號探測器發現，直徑約 2,500 公里，深 13 公里，最大落差（從坑底最深處到最高壁頂處）16.1 公里，同時也是太陽系中已知最大的撞擊坑之一，其直徑與深度比為 2500：13，約 192：1。

2. 採用麵粉當接觸面，其質地鬆軟，投入會陷入太深，不符合所需。經過多重測試，採用砂土來當接觸面，砂石經過過篩網可將其分類。製作四種形式，不同材質但深度相同來測試：砂土粒徑大，mesh no.10 (2mm)，砂土粒徑中，mesh no.18 (1mm)、砂土粒徑小，mesh no.45(0.35mm)、砂土粒徑小+麵粉，比例 2:1（圖 9）。
3. 為讓落地點更明顯，加上彩色粉末以明確顯示並易於測量。



圖 9、各種尺寸篩網規格及接觸面材料準備。

(四) 實際月相之拍攝。

1. 利用學校之天文望遠鏡觀察與紀錄月相變化及隕石坑洞（圖 10）。



圖 10、架設天文望遠鏡觀察與依據不同的時間紀錄月相變化及觀測隕石坑洞

2. 上網搜尋月球隕石坑之資料 (圖 11)。

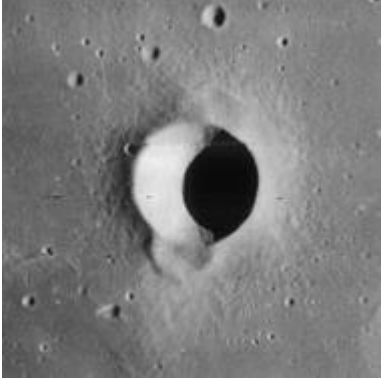
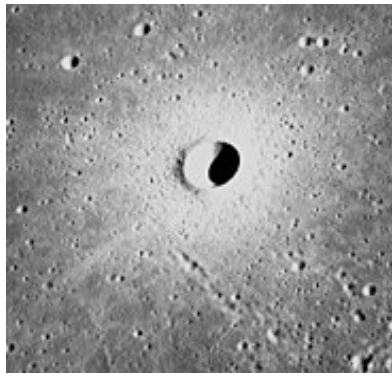

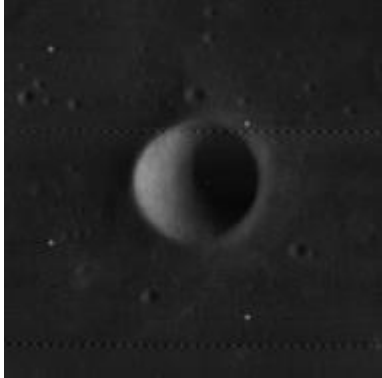
<p>諾曼隕石坑 直徑 9.9 公里 深度 2.15 公里 →計算出寬深比值 = 4.605</p>	<p>林奈隕石坑 直徑 2.23 公里 深度 0.6 公里 →計算出寬深比值 = 3.717</p>
	
<p>列昂尼德隕石坑 直徑 0.10 公里 深度 0.02 公里 →計算出寬深比值 = 5</p>	<p>利伯希隕石坑 直徑 6.7 公里 深度 1.36 公里 →計算出寬深比 = 4.92</p>
	

圖 11、月球隕石坑之資料

伍、結果與討論



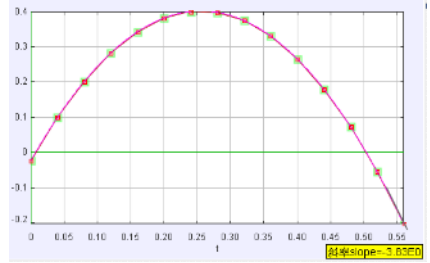
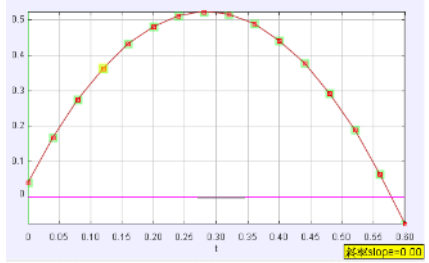
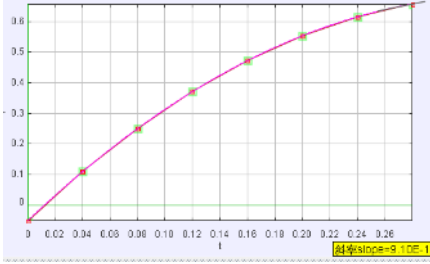

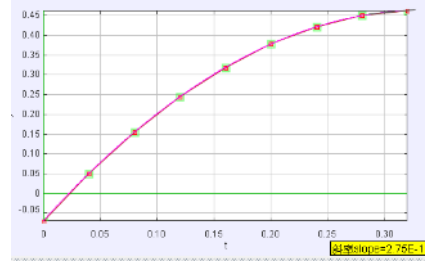
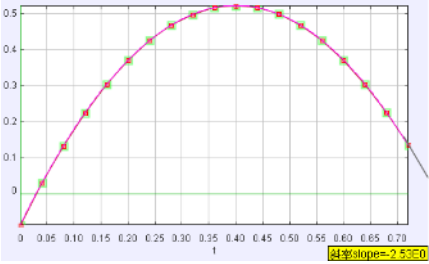
一、物體有兩種運動方式，一為斜拋；另一為自由落體。而操作的環境變數有鋼珠大小、投射角度、拋物力道(斜拋有，自由落體無)、接觸面材質等。依據拋體運動方式坑洞大小紀錄與拋體路徑分析如下。

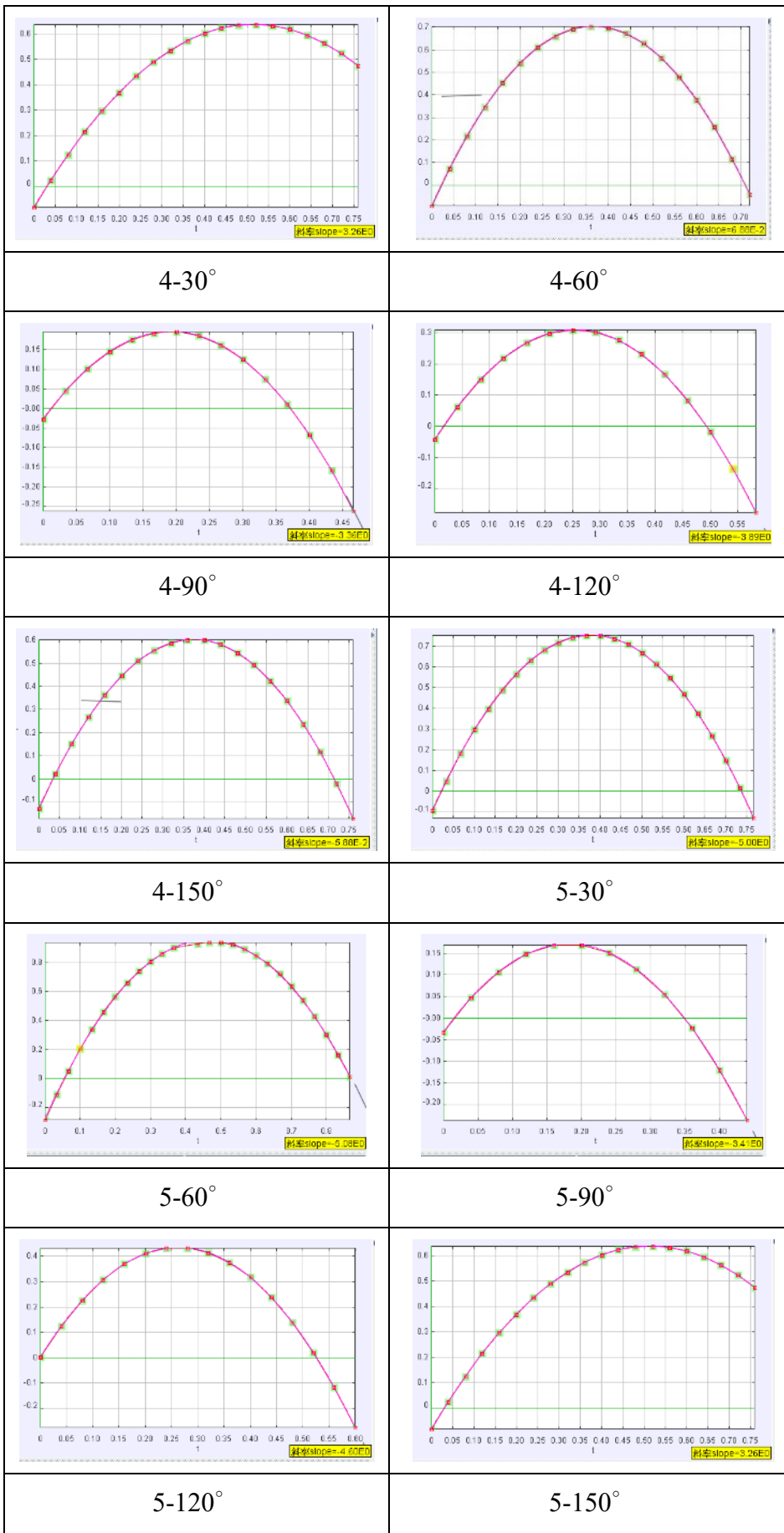
(一) 斜拋運動的結果與討論。

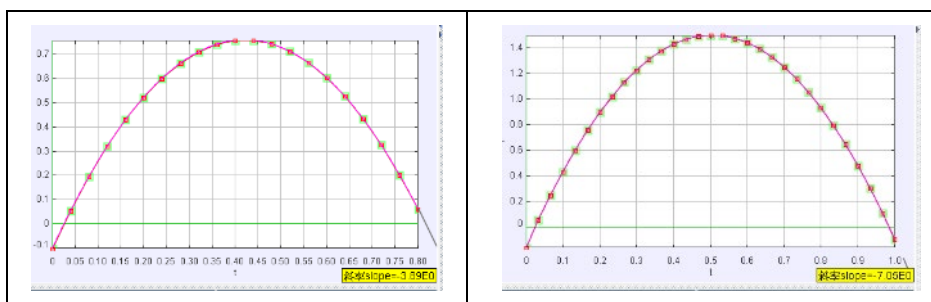
1. 給予固定鋼珠大小(8mm)，為了讓拋物點能讓軟體清楚追蹤，外面裹一層黏土。以改變投射角度與拋物力道為變數，實驗數據如下。

1. 拋體路徑追蹤如下表紀錄實驗結果（表2）。

表2、拋體路徑追蹤如下表紀錄表。

2-30°	2-60°
	
2-90°	2-120°
	
2-150°	3-30°
	
3-60°	3-90°
	
3-120°	3-150°





2. 而我們將 Tracker 上的 X 軸位移量除以時間即是 X 軸的速度分量，同理將 Y 軸位移量除以時間即是 Y 軸的速度分量，以 90 度角為例，以不同橡皮筋當變因，如此我們即可成功將速度量化如圖 12 所示，由圖中我們亦可發現橡皮筋數越多在 Y 軸之速度分量反而越少。鋼珠飛行中因為 Y 軸只受到重力影響故判斷在 90 度 5 條橡皮筋之彈力應該是都到 X 軸分量上了，從圖中亦是發現如此之情形。

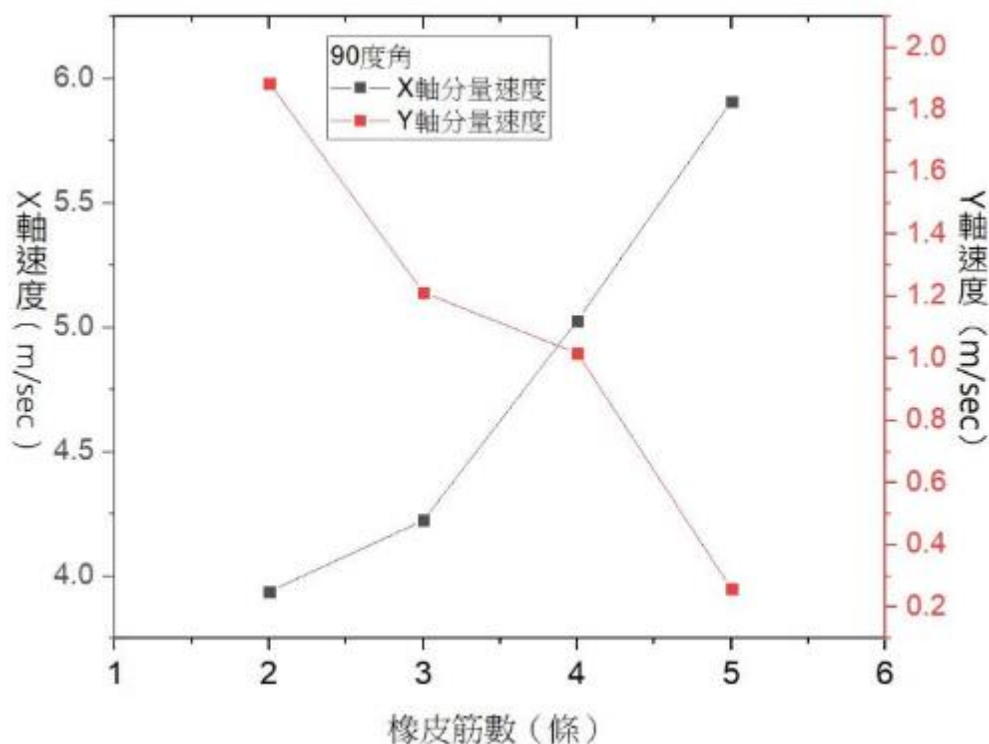


圖 12、固定 90 度之角度，不同橡皮筋之彈力在 X、Y 軸上之分量速度。

3. **斜拋運動**之接觸面材質為砂土粒徑小，mesh no.45(0.35mm)。

- (1) 實驗過程紀錄如表 3，而我們分 5 種不同鋼珠大小（隕石大小）分別以不同角度整理其長寬深比較如圖 13 所示。
- (2) 我們發現歷屆有些作品亦是這樣呈現結果，而作圖後發現彼此之間並無規律或相關性，而實驗觀察是斜拋或是斜角度撞擊故會有如圖中所測量之長(A)、寬(B)數據，亦是 X 與 Y 之分量撞擊力所造成，因此根據橢圓（假設）面積算法 $S = \pi (AB/4)$ 換算成圓（月球大部分坑洞樣子）之面積 $S = \pi (D/4)^2$ ，求出坑洞之直徑 D 亦就是坑洞寬，接著再將表 3 資料換算轉成寬/深比之資料如表 4 及比較如圖 14。

(3) 由圖中就容易看出，以 90 度來說，鋼珠越重則寬深比值則越大，顯見如果隕石重量越重則寬度更寬，而月球表面深度都是 6Km，更是可以顯見越重坑洞越寬。

表 3、以五種不同鋼珠大小分別以不同角度其坑洞大小資料紀錄表。

小 1.3	2條 8mm 60°	2條 8mm 90°	2條 8mm 120°
長(cm)	2.5	2	2
寬(cm)	1.5	1	1.8
深(cm)	0.7	0.8	0.7
小 1.3	2條 10mm 60°	2條 10mm 90°	2條 10mm 120°
長(cm)	2.2	2.2	2
寬(cm)	1.4	1.6	1.3
深(cm)	0.7	0.9	0.8
小 1.3	2條 12mm 60°	2條 12mm 90°	2條 12mm 120°
長(cm)	2.5	2	2
寬(cm)	1.2	1.2	1.2
深(cm)	0.8	0.8	0.6
小 1.3	2條 14mm 60°	2條 14mm 90°	2條 14mm 120°
長(cm)	2.5	2.5	2
寬(cm)	1.3	1.5	1.2
深(cm)	0.5	0.7	0.5
小 1.3	2條 16mm 60°	2條 16mm 90°	2條 16mm 120°
長(cm)	2.3	2	2
寬(cm)	1.5	1.6	1.5
深(cm)	0.6	0.6	0.8

表 4、以五種不同鋼珠大小分別以不同角度其坑洞大小換算成寬深比值。

小 1.3	2條 8mm 60°	2條 8mm 90°	2條 8mm 120°
寬D(cm)	1.94	1.41	1.90
深(cm)	0.7	0.8	0.7
寬/深比值	2.77	1.77	2.71
小 1.3	2條 10mm 60°	2條 10mm 90°	2條 10mm 120°
寬D(cm)	1.75	1.88	1.61
深(cm)	0.7	0.9	0.8
寬/深比值	2.51	2.08	2.02
小 1.3	2條 12mm 60°	2條 12mm 90°	2條 12mm 120°
寬D(cm)	1.73	1.55	1.55
深(cm)	0.8	0.8	0.6
寬/深比值	2.17	1.94	2.58
小 1.3	2條 14mm 60°	2條 14mm 90°	2條 14mm 120°
寬D(cm)	1.80	1.94	1.55
深(cm)	0.5	0.7	0.5
寬/深比值	3.61	2.77	3.10
小 1.3	2條 16mm 60°	2條 16mm 90°	2條 16mm 120°
寬D(cm)	1.86	1.79	1.73
深(cm)	0.6	0.6	0.8
寬/深比值	3.10	2.98	2.17

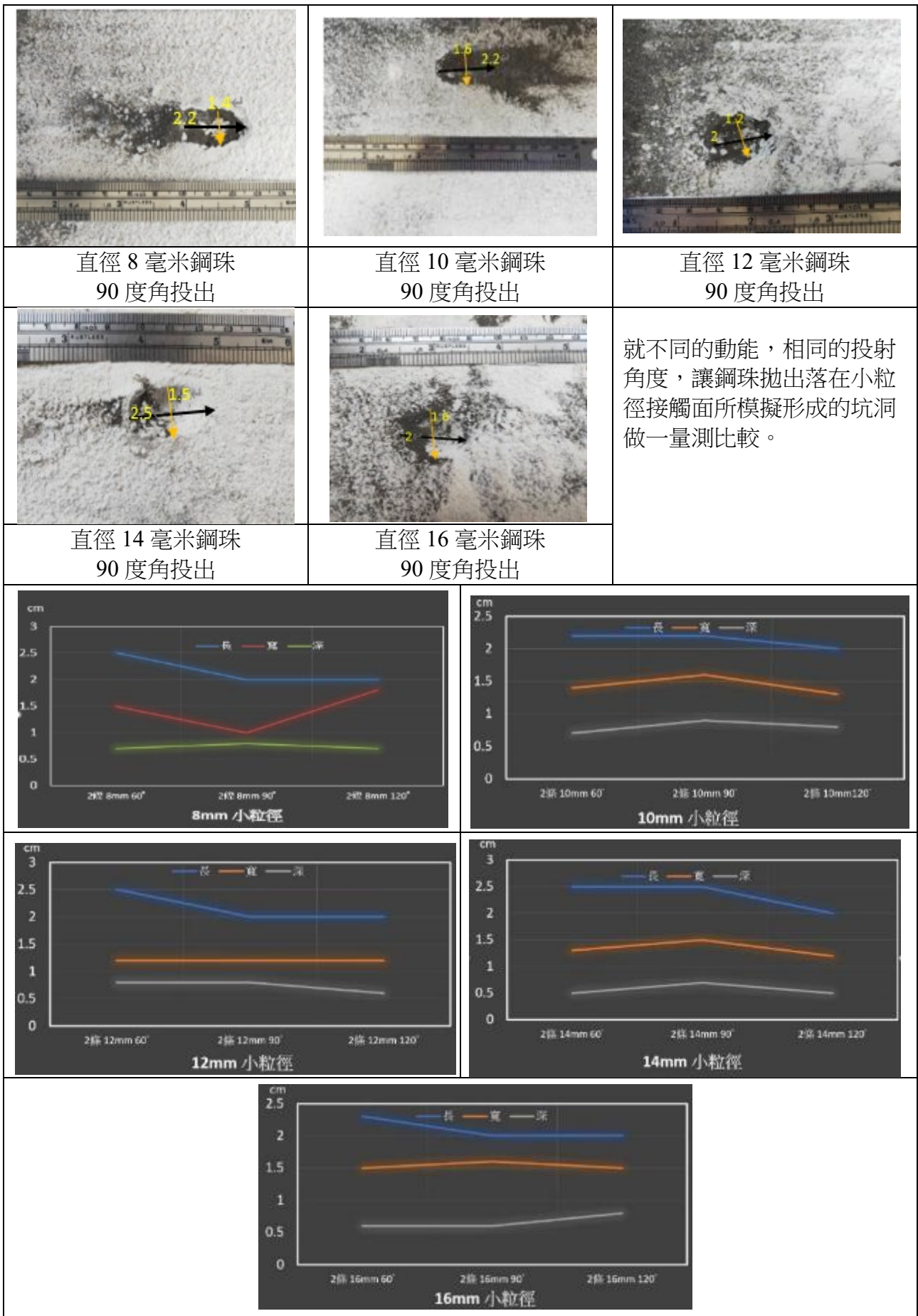


圖 13、以五種不同鋼珠大小分別以不同角度其坑洞大小比較圖。

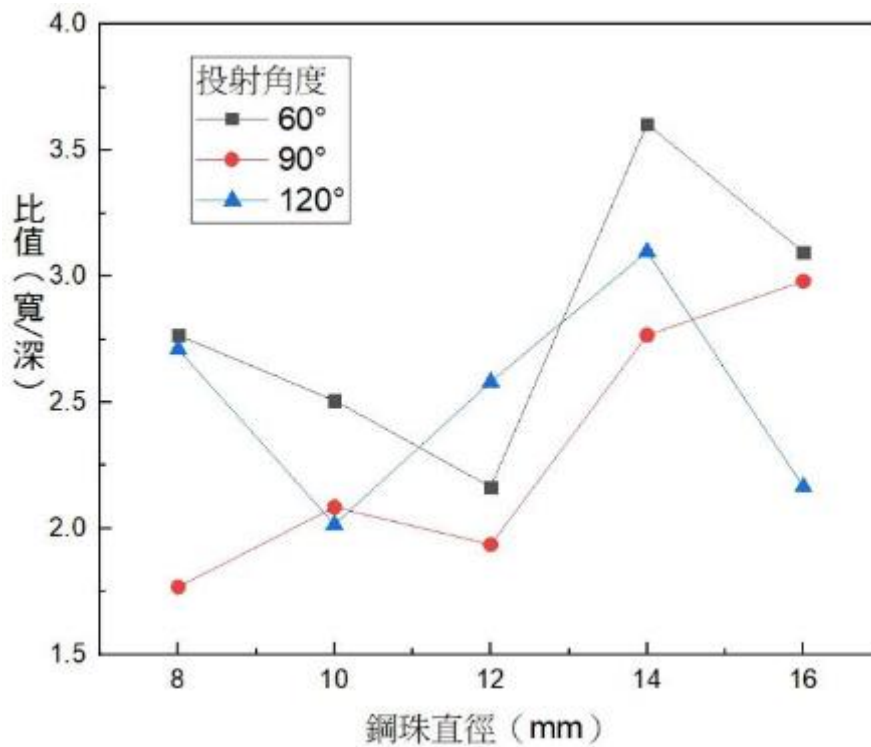


圖 14、以五種不同鋼珠大小分別以不同角度其小粒徑坑洞寬深比值比較。

4. 斜拋運動之接觸面材質為砂土粒徑中，mesh no.18 (1mm)，依照上(3)之討論，我們亦將接觸材質為砂土粒徑中之實驗結果改整理為寬深比，其比較結果如圖 15。我們發現中粒徑材質鋼珠越大反而坑洞寬深比愈小，較不接近一般月球坑洞之情形。

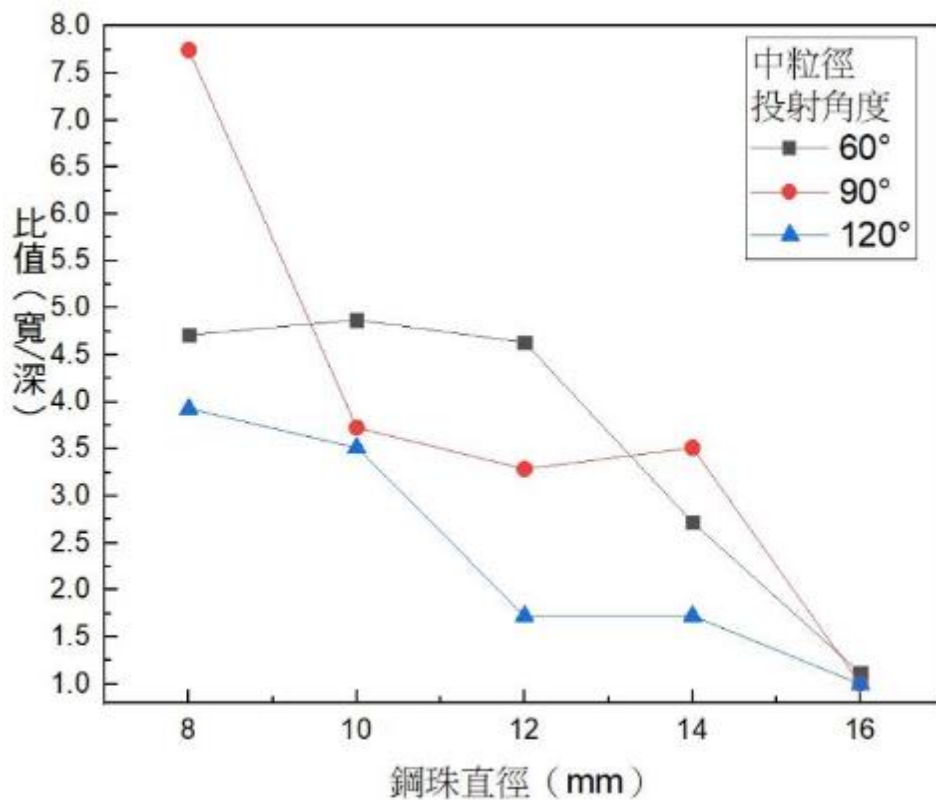


圖 15、以五種不同鋼珠大小分別以不同角度其中粒徑砂質坑洞寬深比值比較。

5. 斜拋運動之接觸面材質為砂土粒徑大，mesh no.10 (2mm)依照上(4)之討論，將接觸材質為砂土粒徑大之實驗結果改整理為寬深比，其比較結果如圖 16。我們發現大粒徑材質只有在 120°角度時鋼珠越大反而坑洞寬深比愈小，其餘呈現較不規則之寬深比。

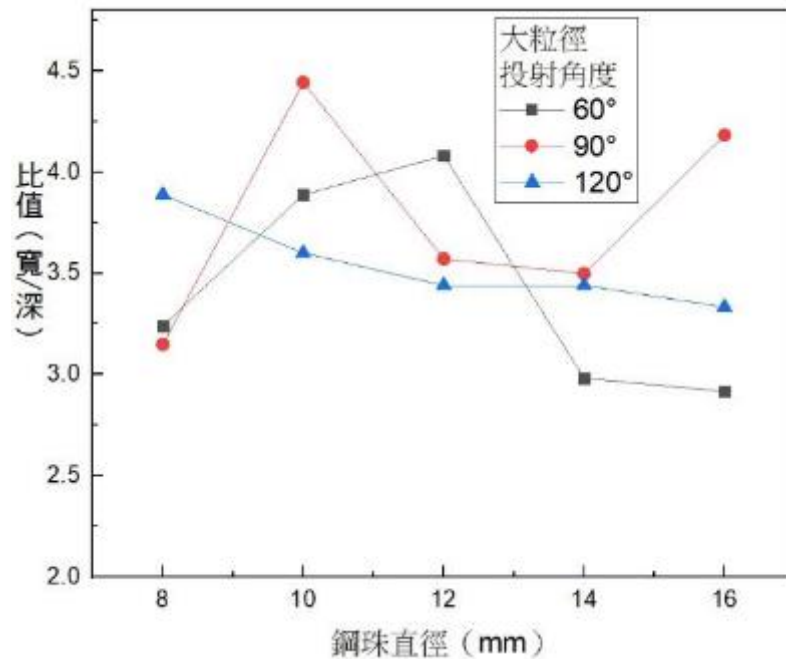


圖 16、以五種不同鋼珠大小分別以不同角度其大粒徑砂質坑洞寬深比值比較。

6. 斜拋運動之接觸面材質為砂土粒徑小加上麵粉，將小砂石與麵粉比例為 2：1 混合成一複合材料為接觸面材質。依照上(4)之討論，我們亦將接觸材質為砂土粒徑小加上麵粉 (2：1)之實驗結果改整理為寬深比，其 16mm 結果如圖 17，比較結果如圖 18，顯示鋼珠為 16mm 時，在任何角度的拋體運動所形成的坑洞寬深比皆與隕石坑相似。

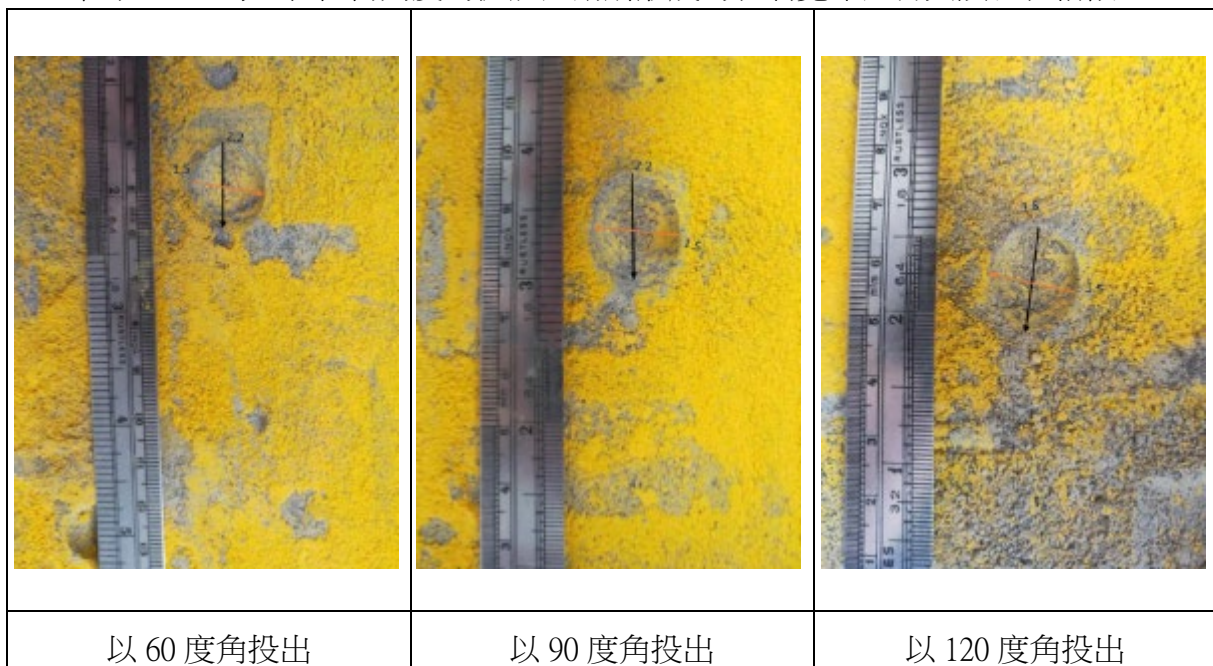


圖 17、直徑 16mm 鋼珠不同角度其小粒徑加麵粉砂質坑洞寬深比照片。

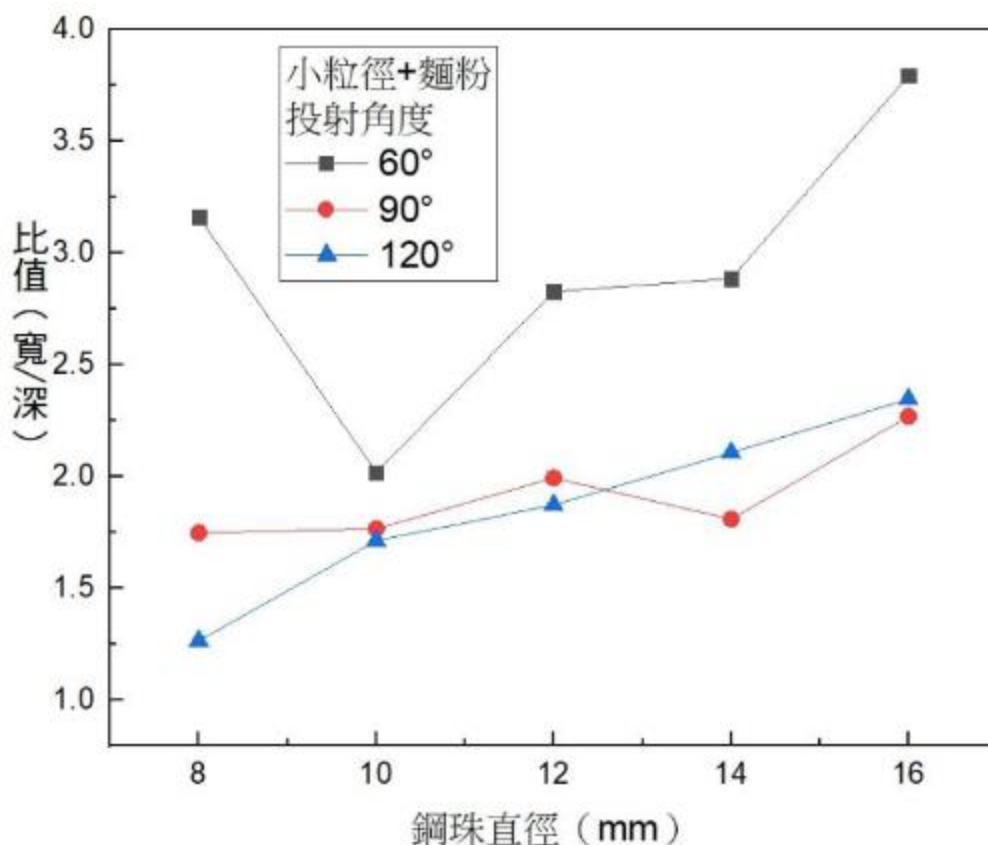


圖 18、五種不同鋼珠大小分別以不同角度其小粒徑加麵粉砂質坑洞寬深比值比較。

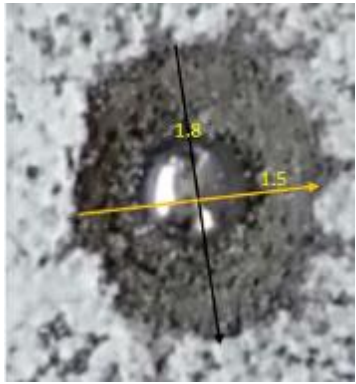
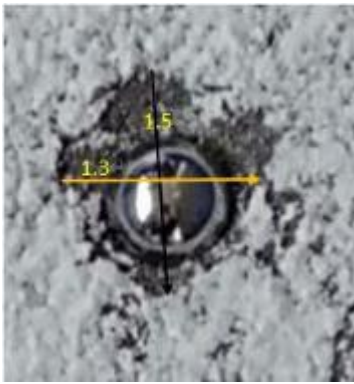
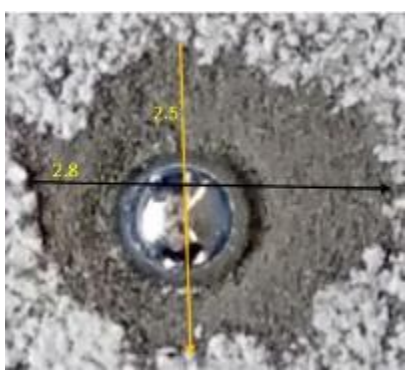
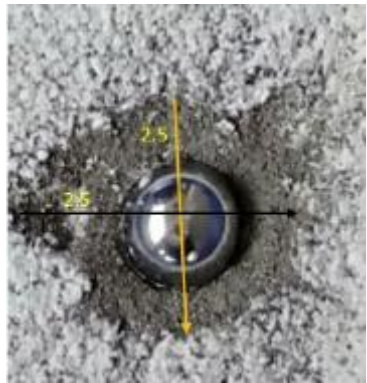

(二) 以鋼珠為自由落體模擬隕石撞擊之實驗結果與討論。

1. 實接觸面材質為小粒徑砂石，mesh no.45(0.35mm)，實驗過程條件及紀錄如表 5，而我們分 5 種不同鋼珠大小（隕石大小）分別以不同高度落下，83cm、133cm、158cm、199cm 整理其長、寬、深比較，如圖 18 所示，從圖表中可以發現確實比較沒有規律性。

- (1) 將其數據資料轉成寬深比之後作圖如圖 19 所示，其比值落在 1.0~3.2 之間，意即寬深比大小差異不大，比其斜拋之寬深比小許多，比較接近大部分月球隕石坑之實際寬深比值。
- (2) 而我們再將小粒徑之接觸面以 5 種不同鋼珠大小（隕石大小）分別以不同高度落下其平均寬度 (D) 與深度分別做比較如圖 20，如此就可以較容易看出整體趨勢都是鋼珠粒徑越大則寬度與深度都是成現正相關，意即鋼珠的重量（動能）愈大則寬度與深度都是呈現漸增趨勢。
- (3) 從結果亦知道紀錄呈現寬深比值以及平均寬度 (D) 及深度分別做比較會比較容易看出差異，故爾後中粒徑與大粒徑之結果都以此為呈現。

表 5、以五種不同鋼珠大小分別以自由落體測接觸面為小粒徑砂石坑洞大小資料紀錄表。

自由落體		鋼珠大小				
小粒徑砂石	8mm	10mm	12mm	14mm	16mm	
83cm落下	8mm	10mm	12mm	14mm	16mm	
長(cm)	0.8	2	1.8	1.4	2.5	
寬(cm)	0.8	1.5	1.5	1.4	2	
深(cm)	0.5	0.8	0.6	0.9	0.7	
133cm落下	8mm	10mm	12mm	14mm	16mm	
長(cm)	2	1	3	2.5	2	
寬(cm)	1.5	1	2.5	2.5	1.8	
深(cm)	0.7	0.9	0.9	0.8	0.8	
158cm落下	8mm	10mm	12mm	14mm	16mm	
長(cm)	2	2	2	2.5	3	
寬(cm)	1.5	2	2.3	2.5	3	
深(cm)	0.8	0.8	0.8	0.9	1.1	
199cm落下	8mm	10mm	12mm	14mm	16mm	
長(cm)	1.8	1.5	2.8	2.5	1.6	
寬(cm)	1.5	1.3	2.5	2.5	1.6	
深(cm)	0.8	0.8	0.9	1	0.9	

		
直徑 8 毫米鋼珠 高度 199cm 落下	直徑 10 毫米鋼珠 高度 199cm 落下	直徑 12 毫米鋼珠 高度 199cm 落下
		就相同的高度，不同的鋼珠，落在接觸面為小粒徑接觸面所形成的坑洞做一量測比較。
直徑 14 毫米鋼珠 高度 199cm	直徑 16 毫米鋼珠 高度 199cm 落下	

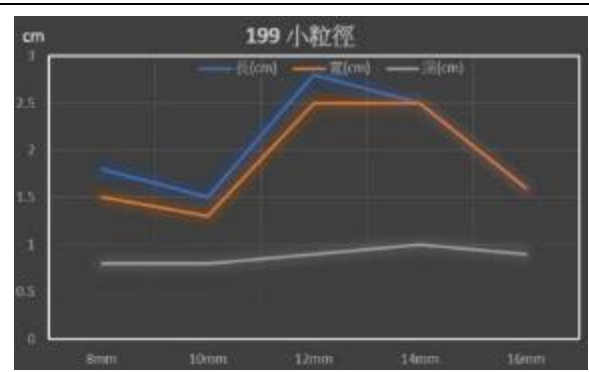
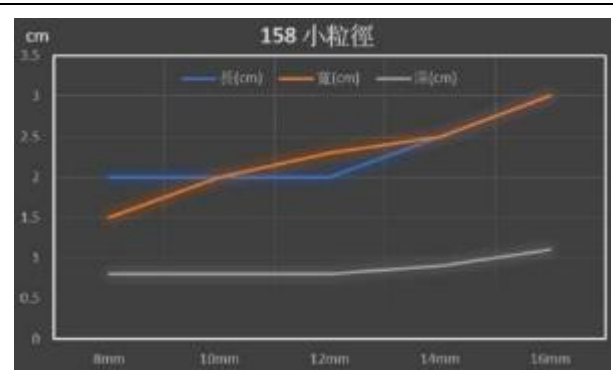
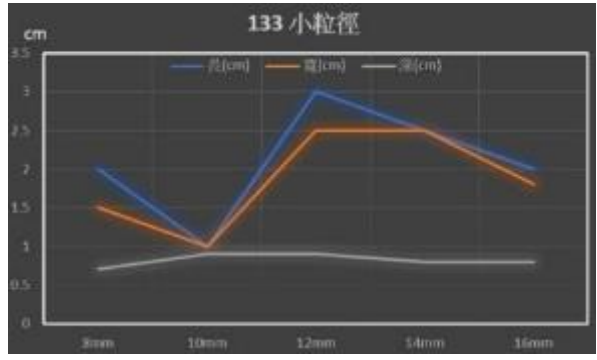
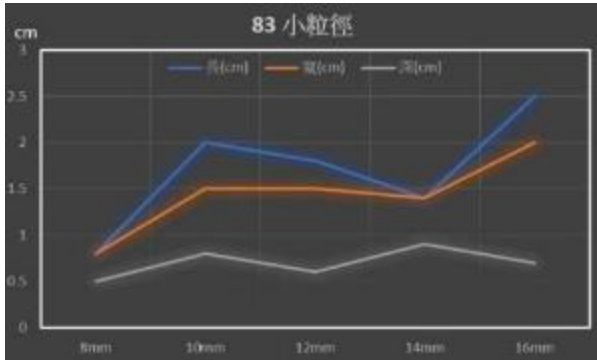


圖 18、以五種不同鋼珠大小分別以不同高度自由落體其坑洞大小比較（小粒徑）。

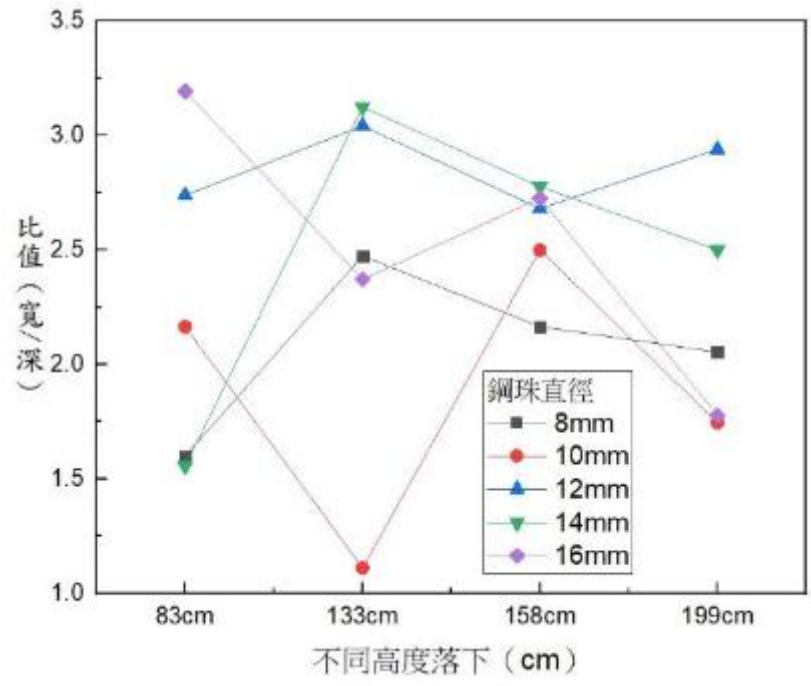


圖 19、以五種不同鋼珠大小不同高度落下其坑洞寬深比值之比較（小粒徑）。

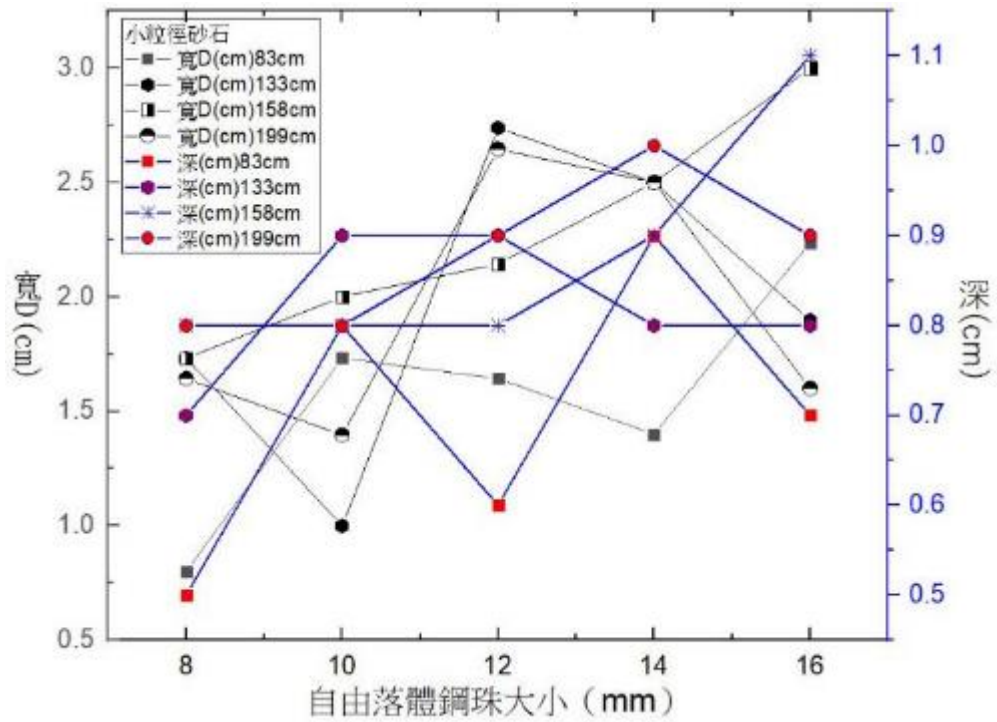


圖 20、以 5 種不同鋼珠大小（隕石大小）分別以不同高度落下其平均寬度（D）與深度分別做比較（小粒徑）。

2. **實接觸面材質為中粒徑砂石**，mesh no.18 (1mm)，整理其寬深比值如圖 21，平均寬度與深度如圖 22。圖 21 中可看出一般是隨著鋼珠粒徑愈大寬深比值越大，但是在 8mm 鋼珠 158 公分落下時，卻是會造成寬深比值較大，而由圖 22 就可以看出因其寬度較寬而深度較淺如有此結果，且平均寬度與深度皆有呈現與鋼珠大小正相關之趨勢。

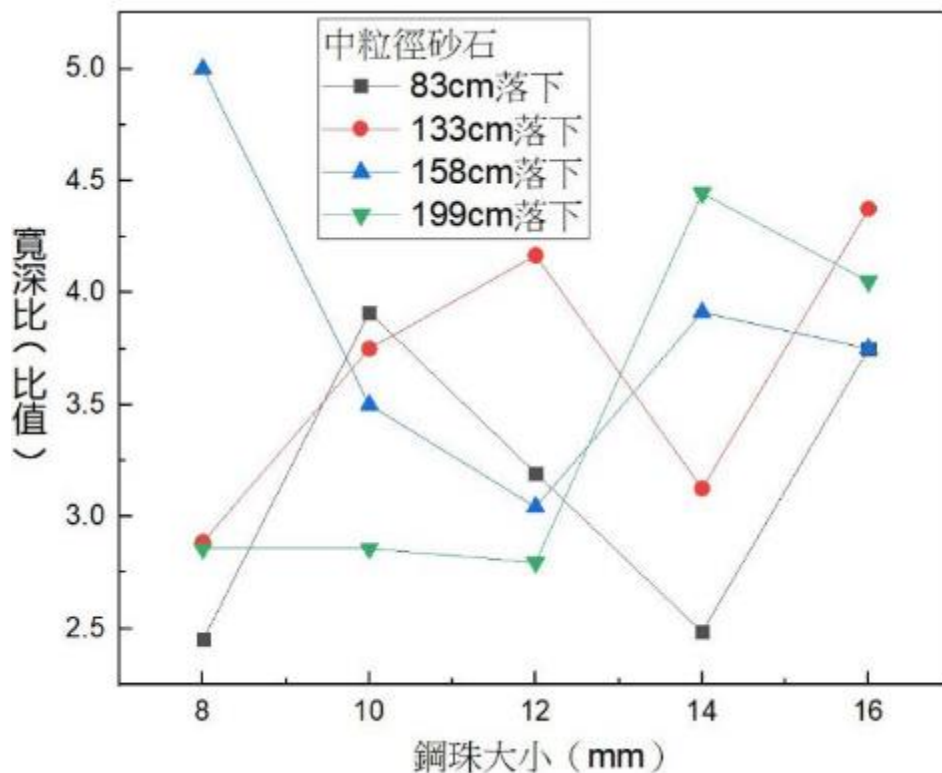


圖 21、以五種不同鋼珠大小不同高度落下其坑洞寬深比值之比較（中粒徑）。

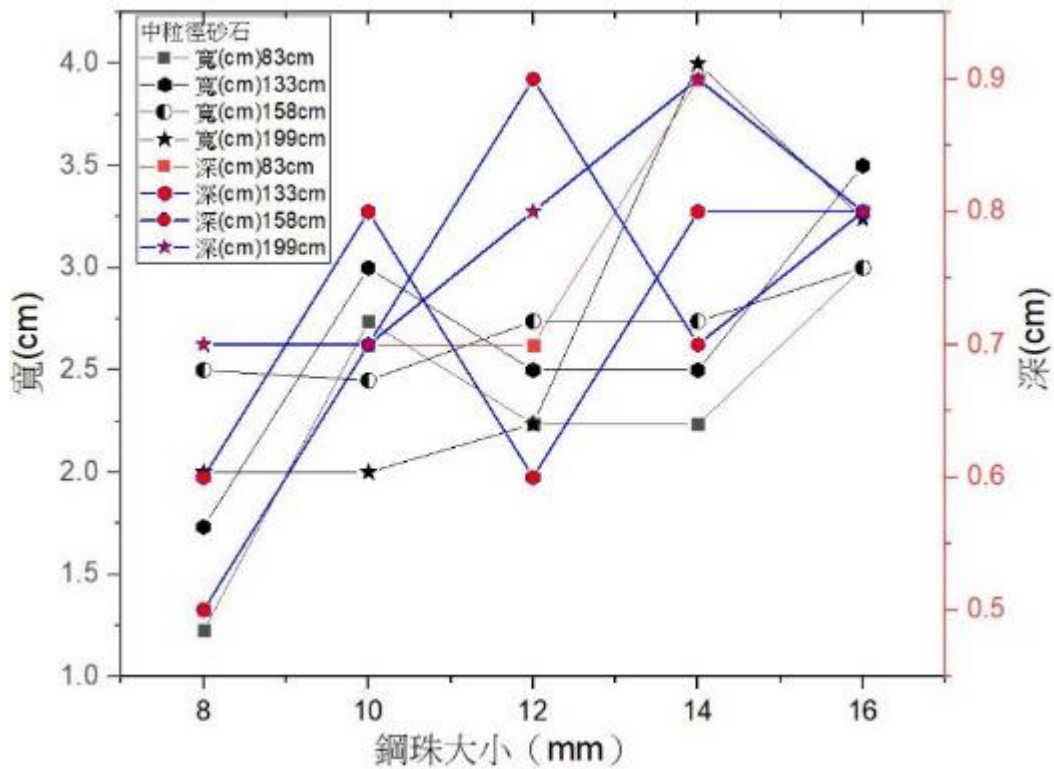


圖 22、5 種不同鋼珠大小以不同高度落下其平均寬度 (D) 與深度分別做比較 (中粒徑)。

3. 實接觸面材質為大粒徑砂石, mesh no.10 (2mm), 其寬深比值如圖 23, 平均寬度與深度如圖 24。圖 23 可知一般寬深比值分佈較為均一, 除了粒徑 12mm 以外走勢較一致, 故整體比較結果自由落體以接觸面材質選用大粒徑砂石材質, 則深度比較貼近實際月球坑洞大致上深度都不深。由圖 24 就可看出鋼珠速度與大小及寬度與深度的正相關之關係, 意即動能越大, 寬度與深度都會增加。

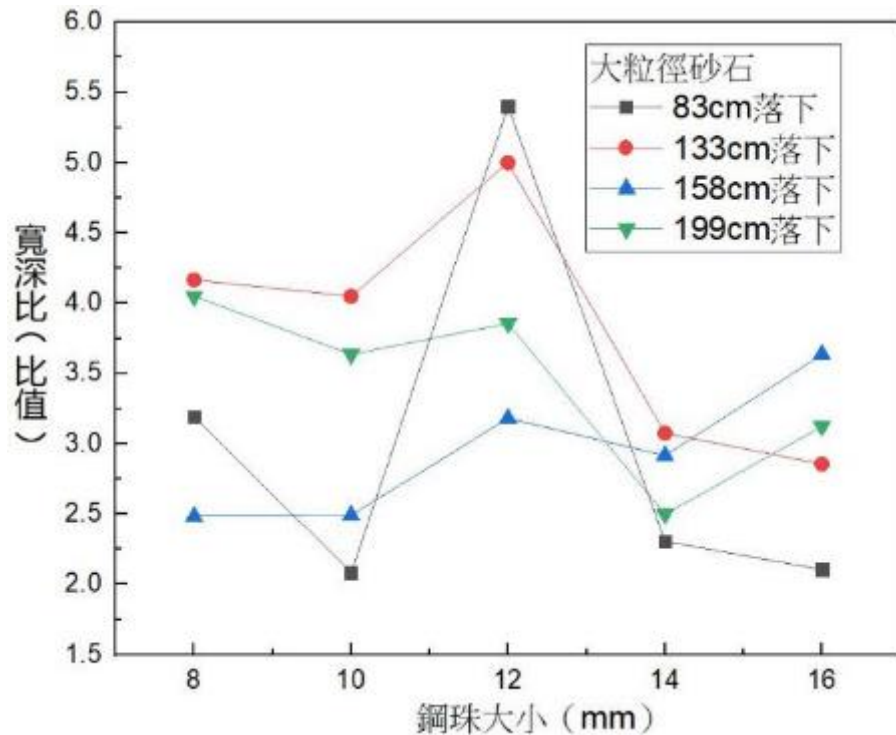


圖 23、以五種不同鋼珠大小不同高度落下其坑洞寬深比值之比較 (大粒徑)

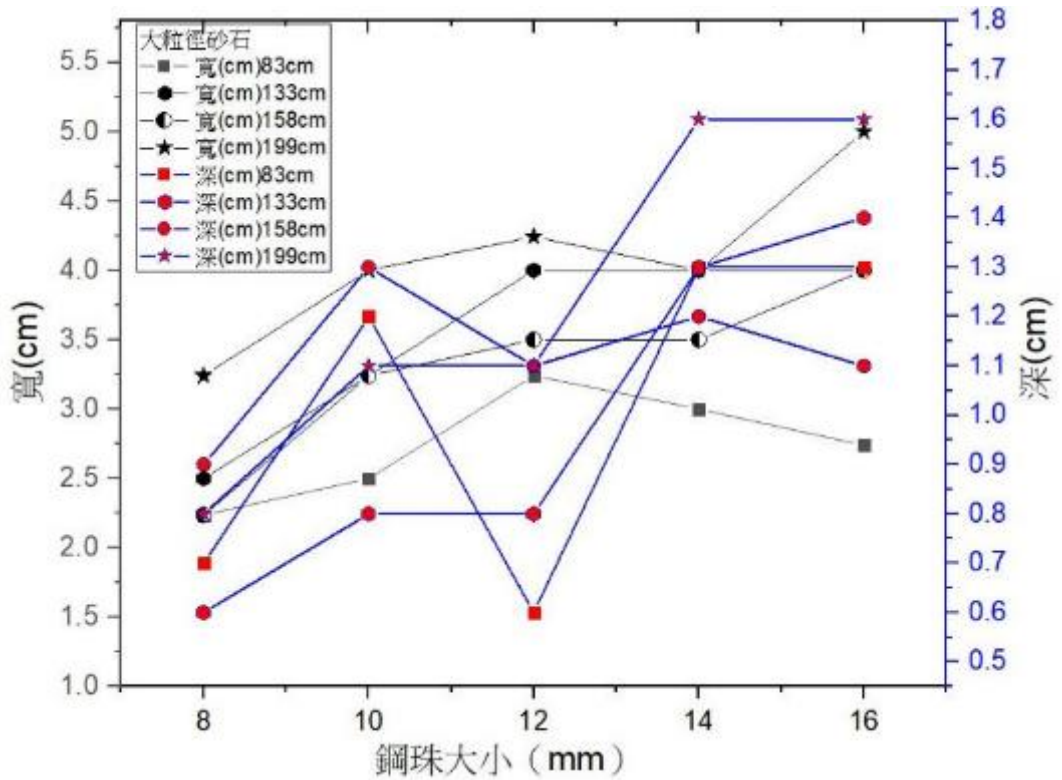


圖 24、5 種不同鋼珠大小以不同高度落下其平均寬度 (D) 與深度分別做比較 (大粒徑)。

4. 實接觸面材質砂土粒徑小加上麵粉，將小砂石與麵粉比例為 2：1 混合成一複合材料為接觸面材質。整理其寬深比值如圖 25，而平均寬度與深度如圖 26。呈現出深度趨於一致的區帶，而寬度則與重量大小正相關。(實際照片如圖 27)

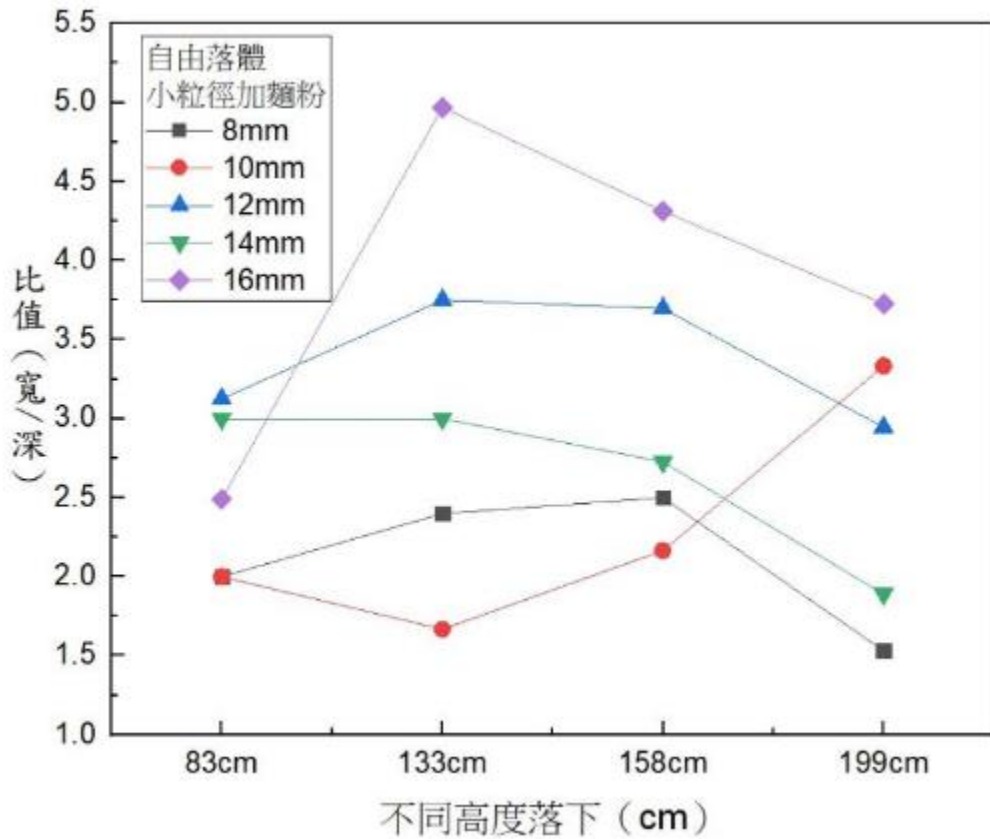


圖 25、以五種不同鋼珠大小不同高度落下其坑洞寬深比值之比較 (小粒徑+麵粉)。

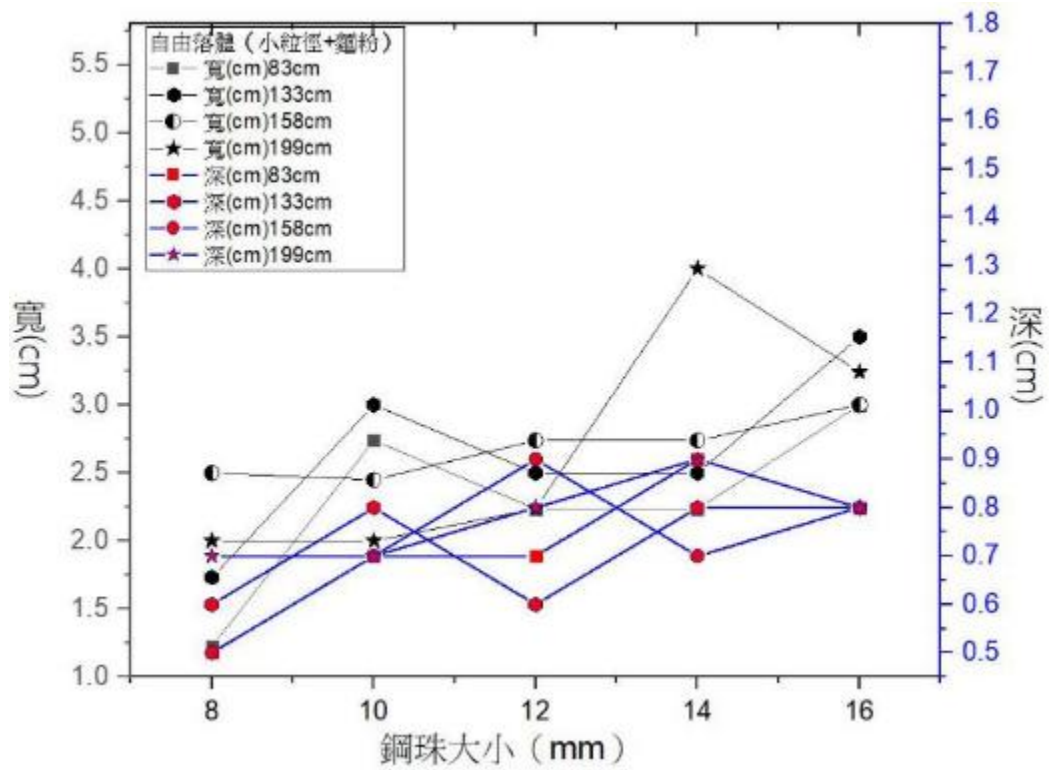


圖 26、5 種不同鋼珠大小以不同高度落下其平均寬度 (D) 與深度比較 (小粒徑+麵粉)。

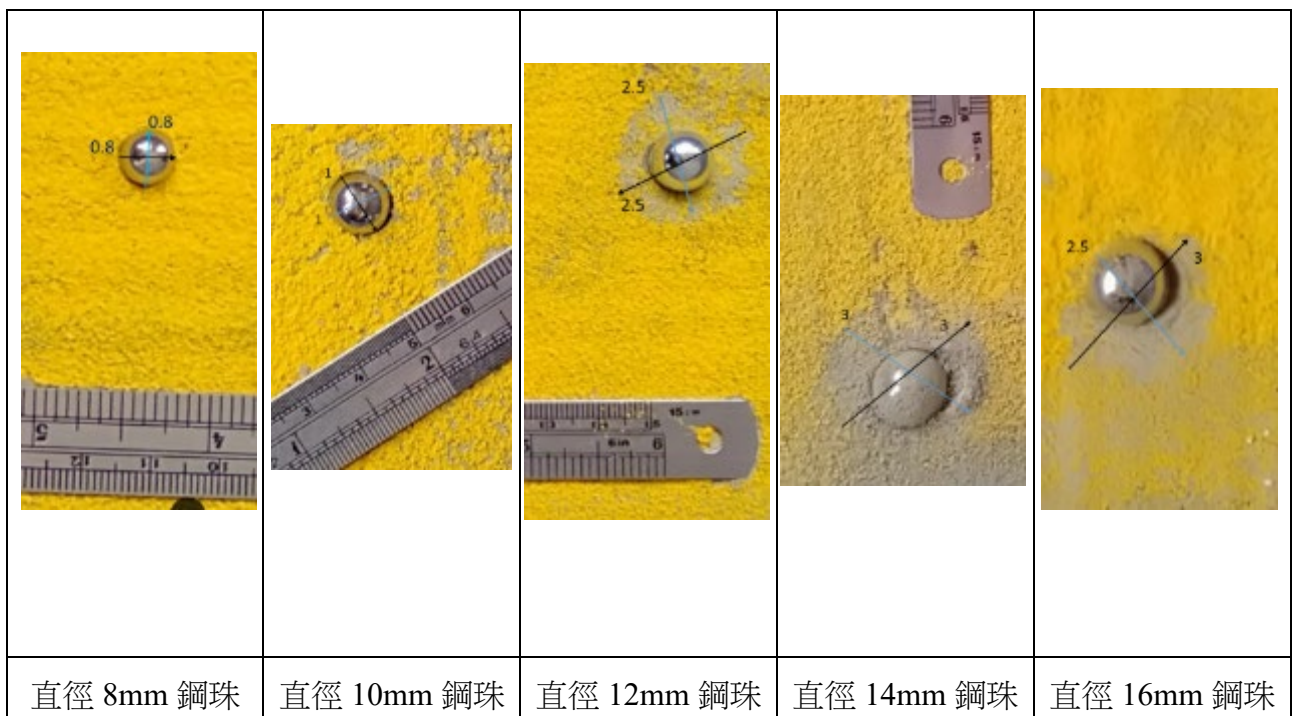


圖 27、5 種不同鋼珠大小以 83cm 高度落下其實際照片 (小粒徑+麵粉)。

二、利用學校天文設備實際拍攝結果。

(一) 利用學校之天文望遠鏡觀察與紀錄月相變化及隕石坑洞 (圖 28)。

以下就農曆 12 月的拍攝紀錄如下：






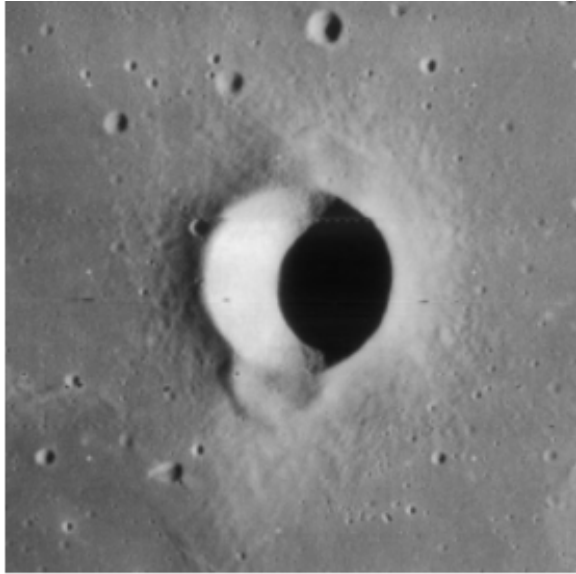
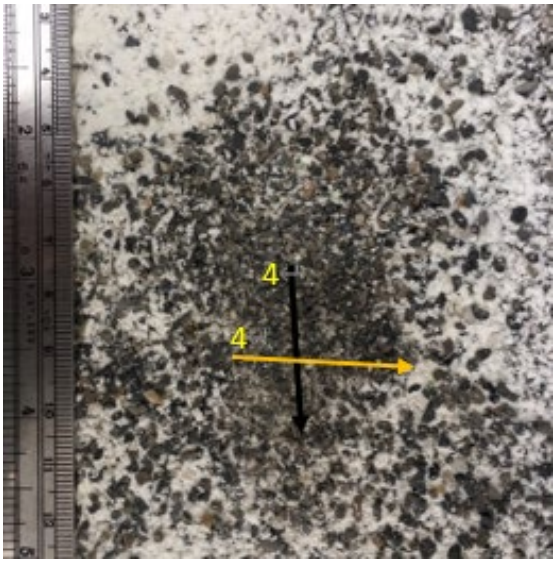
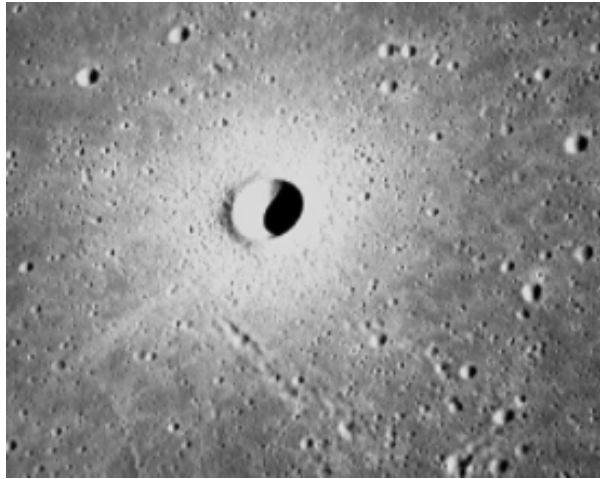
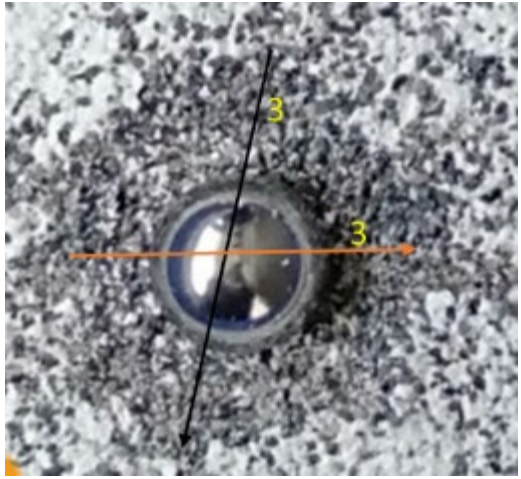
	
<p>農曆 12 月 7 日</p>	<p>農曆 12 月 9 日(上弦)</p>
	
<p>農曆 12 月 14 日</p>	<p>農曆 12 月 15 日</p>
	
<p>農曆 12 月 16 日 (望的前一天)</p>	<p>農曆 12 月 20 日</p>

圖 28、農曆 12 月的拍攝紀錄

(二) 上網搜尋月球隕石坑之資料並與我們自己之實驗結果互相比較 (圖 29)。

月球隕石坑資料	自己實驗之結果
	
<p>諾曼隕石坑 直徑 9.9 公里 深度 2.15 公里 寬深比值 = 4.605</p>	<p>接觸面：大粒徑 拋體：10mm 鋼珠 角度：90 度角 結果：直徑 4 公分、深度 0.9 公分 寬深比值 = 4.4</p>
	
<p>林奈隕石坑 直徑 2.23 公里 深度 0.6 公里 寬深比值 = 3.717</p>	<p>接觸面：中粒徑 拋體：16mm 鋼珠 自由落體 結果：直徑 3 公分、深度 0.8 公分 寬深比值 = 3.75</p>



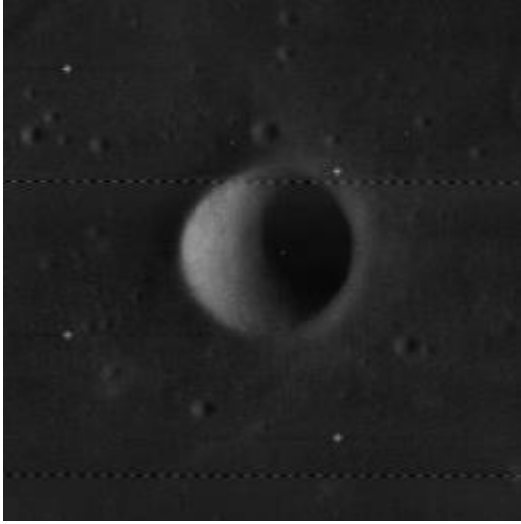
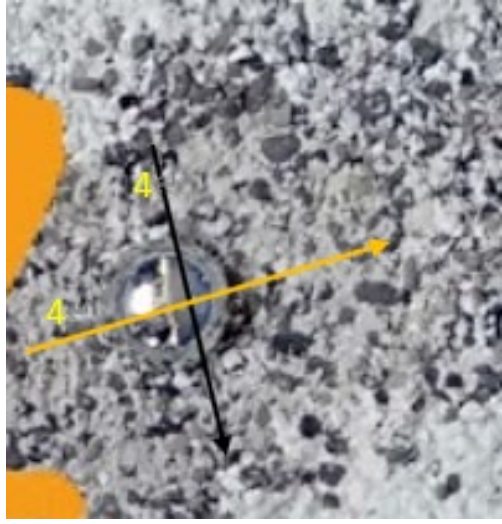
	
<p>列昂尼德隕石坑 直徑 0.10 公里 深度 0.02 公里 寬深比值 = 5</p>	<p>接觸面：大粒徑 拋體：12mm 鋼珠 自由落體，高度 83cm 結果：直徑 3 公分、深度 0.6 公分 寬深比值 =5</p>
	
<p>利伯希隕石坑 直徑 6.7 公里 深度 1.36 公里 寬深比為 4.92</p>	<p>接觸面：大粒徑 拋體：12mm 鋼珠 自由落體，高度 133cm 結果：直徑 4 公分、深度 0.8 公分 寬深比值 =5</p>

圖 29、月球隕石坑與實驗結果互相比較寬深比。

陸、結論

- 一、橡皮筋數越多(施力越大)在 Y 軸之速度分量反而越少。探究其原因研判應是鋼珠飛行中因為 Y 軸只受到重力影響故判斷在 90 度 5 條橡皮筋之彈力應該是都到 X 軸分量上了。
- 二、斜拋運動中，依據不同的拋體與接觸面的材質比較如下：
 - (一)接觸面為小粒徑材質，鋼珠越重則寬深比值則越大，形似橢圓，顯見如果隕石重量越重則寬度更寬，而月球表面深度大多不深，多數文獻顯示約 6Km。
 - (二)接觸面為中粒徑材質鋼珠越大反而坑洞寬深比愈小，較不接近一般月球坑洞之情形。
 - (三)接觸面大粒徑材質只有在 120°角度時鋼珠越大反而坑洞寬深比愈小，其餘呈現較不規則之寬深比。
- 三、自由落體運動中，不同鋼珠與接觸面材質皆有「鋼珠粒徑愈大寬深比值越大」之情況。其中：
 - (一)接觸面為小粒徑材質，將其數據資料轉成寬深比之後作圖後發現其比值落在 1.0~3.2 之間，意即寬深比大小差異不大，但較比其斜拋之寬深比小許多，比較接近大部分月球隕石坑之實際寬深比值。
 - (二)接觸面為大粒徑材質，鋼珠為粒徑 12mm 走勢比較一致，坑洞寬深比會應該因為寬度越大而比值增加。月球隕石坑的深度並不深，NASA 的重力回溯及內部結構實驗室（Gravity Recovery and Interior Laboratory，GRAIL）已經證明月球內部應有物質而使得隕石坑洞不深，在此理論依據下，坑洞寬深比會應該因為寬度越大而比值增加，在此實驗中很明確可以得到此結果。
 - (三)接觸面積為小粒徑加上麵粉，實驗數據呈現出量測坑洞的深度趨於一致，而寬度則與重量大小正相關。
- 四、鋼珠粒徑越大則寬度與深度都是成現正相關，意即鋼珠的重量（動能）愈大則寬度與深度都是呈現漸增趨勢，但比值亦是漸大。
- 五、實驗數據顯示，鋼珠於拋體運動與自由落體兩種情況所擲出形成的坑洞，以下列兩種最為相近月球隕石坑。
 - (一)拋體運動：接觸面為小粒徑砂石加上麵粉，比例為 2：1 形成兩層；鋼珠為 16mm；在任何角度的拋體運動所形成的坑洞寬深比皆與隕石坑相似。
 - (二)自由落體：接觸面為大粒徑砂石；鋼珠為 16mm；掉落高度為任意高度皆可。

柒、參考資料

一、謝阡芊、陳亮妤、林心喬，愛的迫降-火流星事件型態及現象模擬之研究，中華民國第 60 屆中小學科學展覽會國中組地球科學科作品說明書

二、林資堯、黃云、廖弈睿，魅“粒”四射，南投縣第 56 屆中小學科學展覽會國中組地球科學科第一名作品說明書。

三、洪菲亞、黃云，坑坑洞洞的秘密－探討隕石坑型態及形成原因，中華民國第 59 屆中小學科學展覽會高中組地球與行星科學科探究精神獎作品說明書。

四、林洵鋌、廖美倫、吳方彤、張芷瑜，隕石撞月球-探討月球構造，中華民國第 47 屆中小學科學展覽會國中組生物與地球科學科作品說明書。

五、維基百科，月球隕石坑。2020/12/05 查詢。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9C%88%E7%90%83%E9%99%A8%E7%9F%B3%E5%9D%91>

六、Tracker軟體安裝與使用教學，楊仲準。2020/9/25。

<http://163.22.77.147/web/upload/201712051230241.ppt>

重力投石車(youtube影片)，2020/10/5。

<https://www.youtube.com/watch?v=DtWwhcoNyn4&t=4s>

七、維基百科 <https://zh.wikipedia.org/>

【評語】 051901

實驗設計完整，實驗器材準備充足，是很好的動手作實驗之科展作品，學生可以藉由實驗進一步了解隕石坑形成之可能情形。唯實驗分析似較欠缺一致性的結果，因此與實際隕石坑之比較，就需從實驗數據中去找尋與實際隕石坑近似寬深比的實驗結果。實驗無法歸納出目前大粒徑鋼珠比較結果。顯示列昂尼德隕石坑與利柏希隕石坑，條件差異大，控制變數項目多，導致最後成果論述證據不足。研究報告欠缺相關文獻之探討，有些圖表應註明引用之書籍或文獻來源。下面幾點建議供作品改進之參考。

缺點

1. 作品說明書內容應明確交代哪些部分例如數據(隕石速度，p3)和照片的出處。
2. 這麼多隕石坑中為什麼只挑選4個比較，應有些說明(25頁)。
3. 作者實際拍攝的照片24頁，與整篇研究無關，是多餘的。
4. 既然是模擬實驗，應該比較討論與實際狀況差異之處，以明瞭本實驗侷限之處。
5. 看不懂p12圖12橡皮筋條數與速度之實驗與討論主題有何關係，因為p13的實驗數據都是採用兩條橡皮筋，並沒有其他數據。

6. P9 中寫到物體運動方式有斜拋和自由落體兩種方式，這個假設與已知事實不符，天體運動軌跡有三種，橢圓拋物線和雙曲線。
7. 自由落體結果(圖 11~圖 12)應該是比較好的控制的實驗，但是實驗結果顯示並無明顯趨勢。建議針對部分條件可以增加試驗數量，釐清影響。
8. 報告中出現不少錯別字，應該要避免。

作品簡報

大珠小珠落玉盤—探討月球隕石坑之成因

摘要

可利用Tracker軟體**成功**量化斜拋鋼珠之x軸及y軸的分量速度。斜拋撞擊接觸面**實驗**：小粒徑材質，鋼珠越重則寬深比值越大且形似橢圓；中粒徑材質，鋼珠越大坑洞寬深比愈小，大粒徑材質，在 120° 角度時鋼珠越大則坑洞寬深比愈小。接觸面為小粒徑砂石加上麵粉其比例為2：1形成混合層鋼珠為16mm時，其拋體運動所形成的坑洞寬深比與隕石坑相似。**自由落體實驗結果**：皆為鋼珠粒徑愈大其寬深比值越大，接觸面為小粒徑材質時寬深比大小差異不大，且相較於斜拋之寬深比小許多，較近似月球隕石坑之實際寬深比值；接觸面積為小粒徑加上麵粉則呈現出測量坑洞的深度趨於一致，且寬度則與重量大小正相關。

研究動機

參觀了科學館內設置的天文台、星象教室及天文望遠鏡等等，進了星象教室參與了第一次的模擬夜晚星空的天文課程，當時老師使用天文望遠鏡我們觀看關於地球唯一的一顆天然衛星—月球的表面，發現表面有許多坑洞，對於這些坑洞的形成原因，我們很有興趣。於是我們團隊利用學校之天文設備來觀察與拍攝月相且觀察月相上的隕石坑，企圖探究與了解月球與其隕石坑的秘密。

研究目的

- (一)嘗試模擬與定量化與石之撞擊速度。
- (二)模擬與探討隕石各項物理量對撞擊坑洞大小與型態的影響。
- (三)探討協拋運動和自由落體對撞擊坑大小及型態得影響。
- (四)探究與比較模擬之隕石坑與實際觀察之月球隕石坑洞之異同。

研究設備與器材

實驗步驟與方法



圖 1、第1代投石機

圖 2、第2代投石機

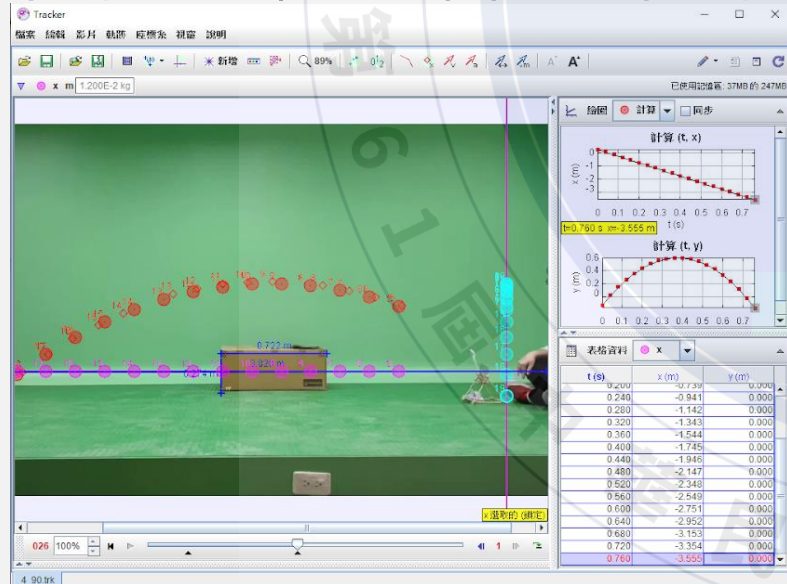


圖 3、Tracker軟體操作圖示

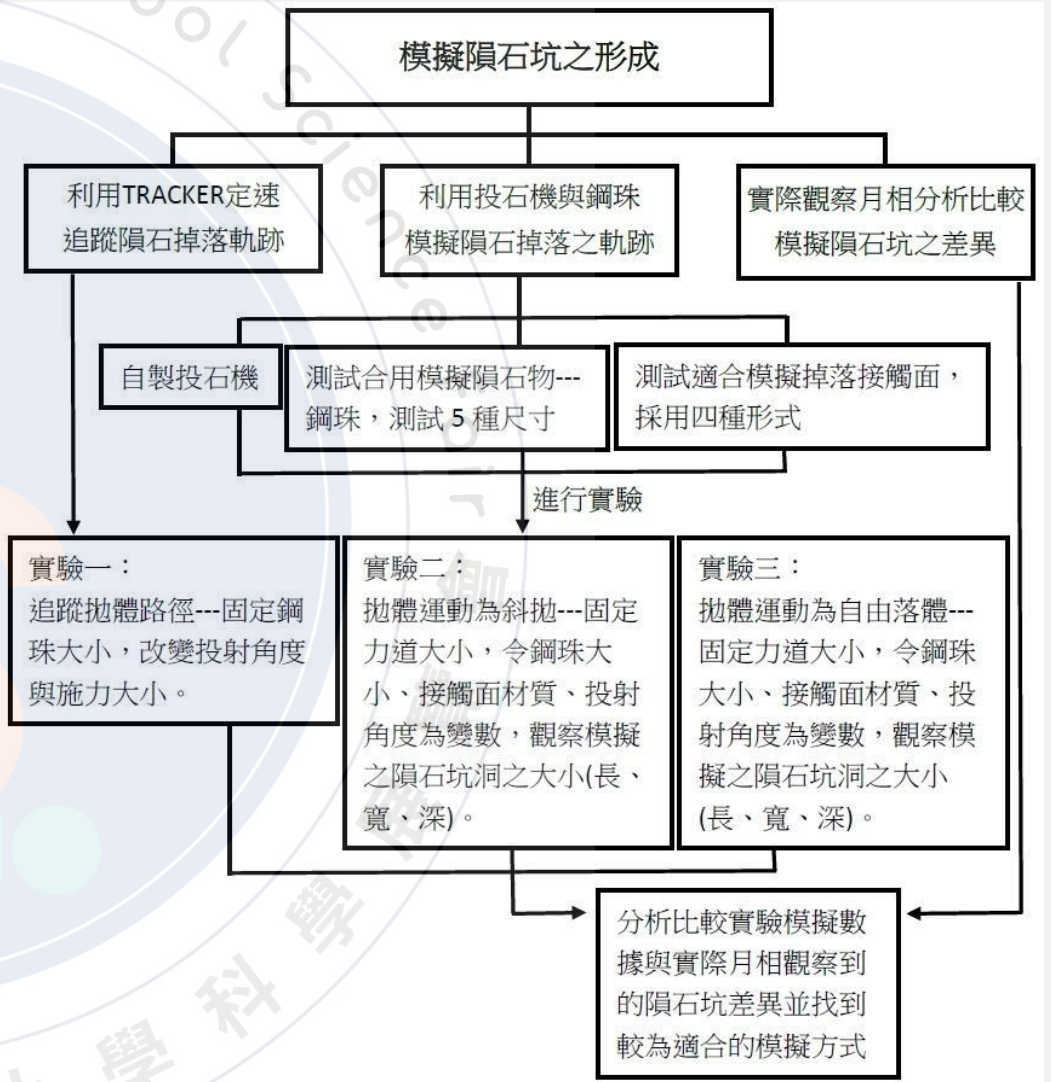
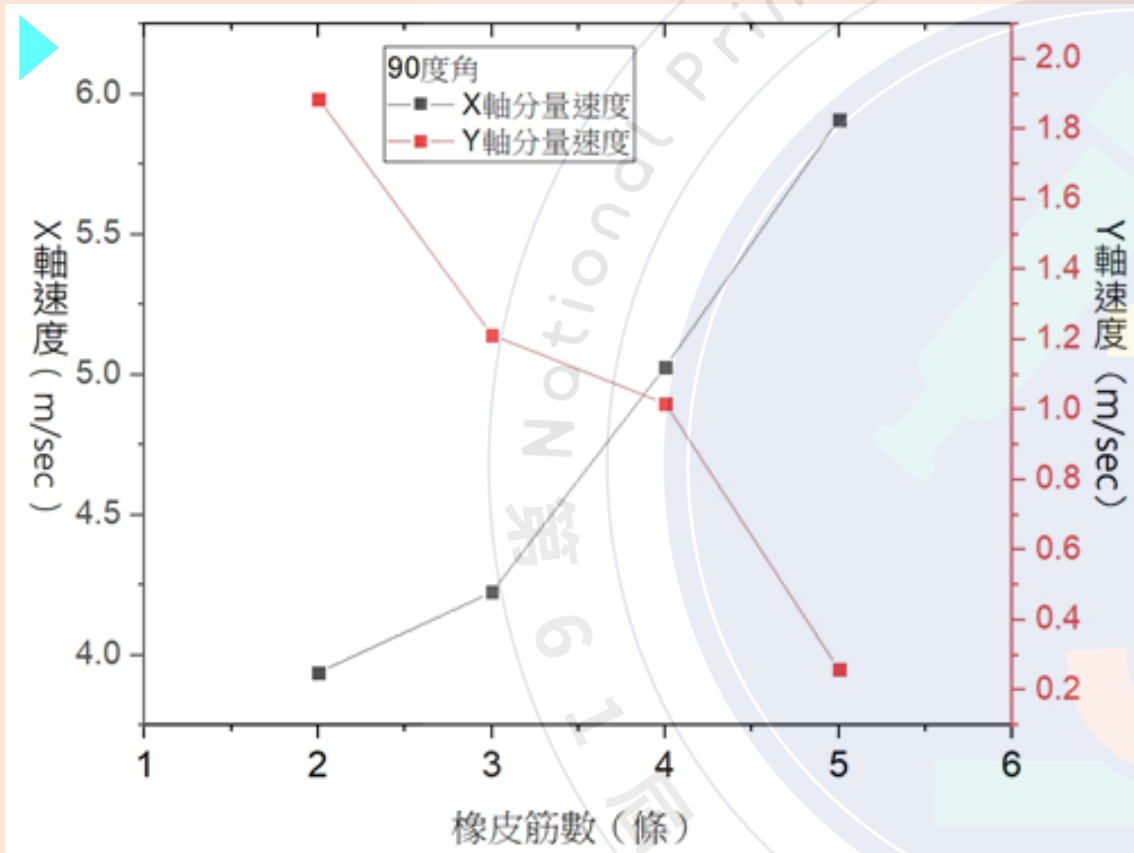


圖4、實驗流程圖

結果與討論 (斜拋運動)

圖五



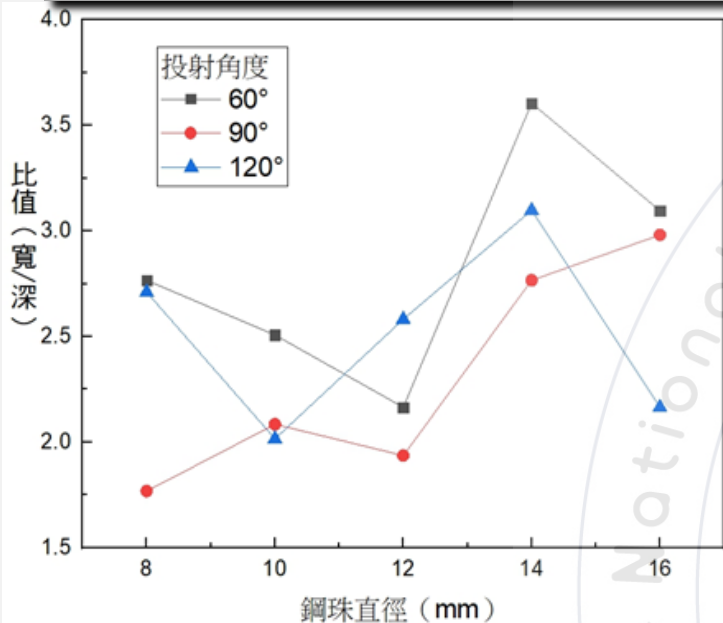
圖六

小 1.3	2條 8mm 60°	2條 8mm 90°	2條 8mm 120°
寬D(cm)	1.94	1.41	1.90
深(cm)	0.7	0.8	0.7
寬/深比值	2.77	1.77	2.71
小 1.3	2條 10mm 60°	2條 10mm 90°	2條 10mm 120°
寬D(cm)	1.75	1.88	1.61
深(cm)	0.7	0.9	0.8
寬/深比值	2.51	2.08	2.02
小 1.3	2條 12mm 60°	2條 12mm 90°	2條 12mm 120°
寬D(cm)	1.73	1.55	1.55
深(cm)	0.8	0.8	0.6
寬/深比值	2.17	1.94	2.58
小 1.3	2條 14mm 60°	2條 14mm 90°	2條 14mm 120°
寬D(cm)	1.80	1.94	1.55
深(cm)	0.5	0.7	0.5
寬/深比值	3.61	2.77	3.10
小 1.3	2條 16mm 60°	2條 16mm 90°	2條 16mm 120°
寬D(cm)	1.86	1.79	1.73
深(cm)	0.6	0.6	0.8
寬/深比值	3.10	2.98	2.17

投射角度為90°時利用不同力道所產生的X、Y方向速度。

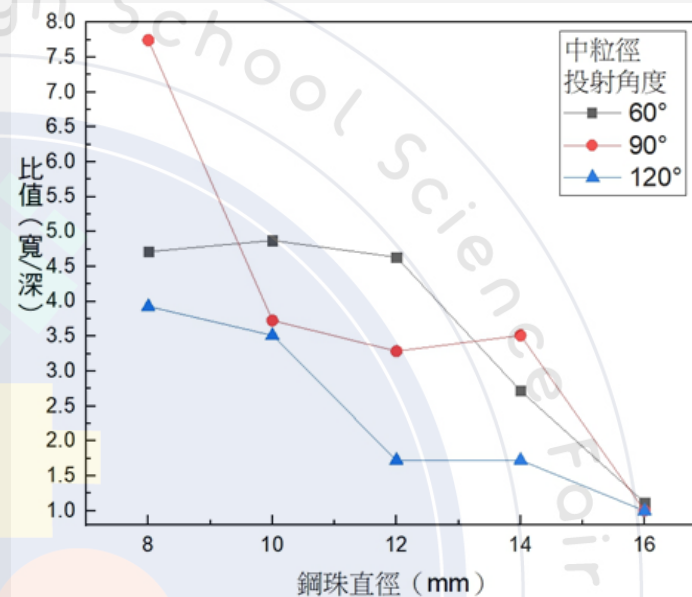
假設橢圓形與圓形面積相同，換算出圓的直徑再做寬深比的資料。

結果與討論 (斜拋運動)



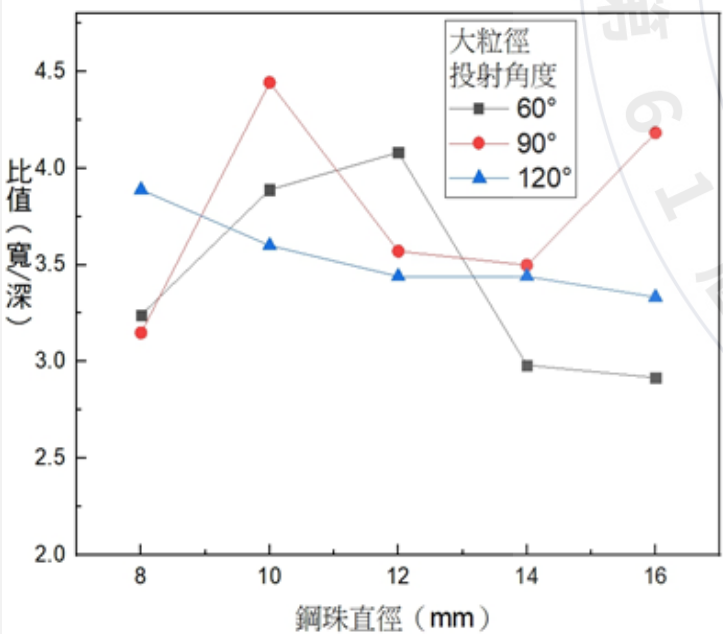
◀ 圖七

接觸面為小粒徑砂土時，在不同鋼珠直徑及不同投射角度下形成的坑洞寬深比。



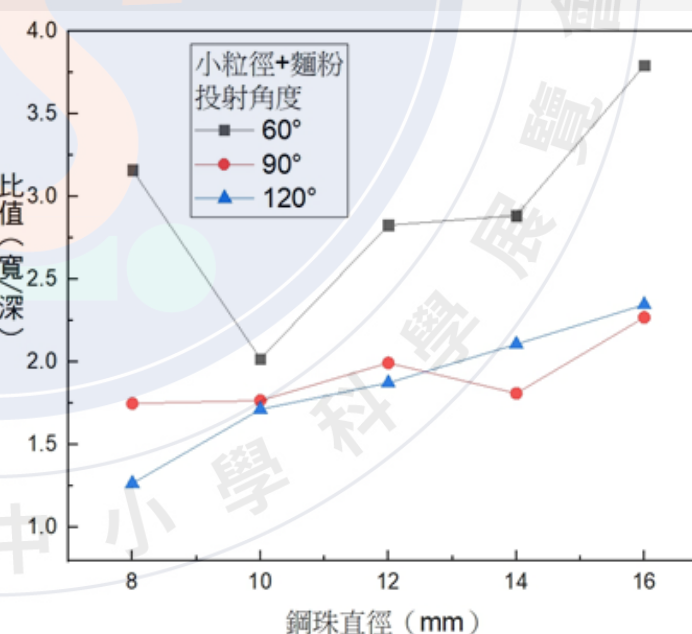
◀ 圖八

接觸面為中粒徑砂土，在不同鋼珠直徑及不同投射角度下形成的坑洞寬深比。



◀ 圖九

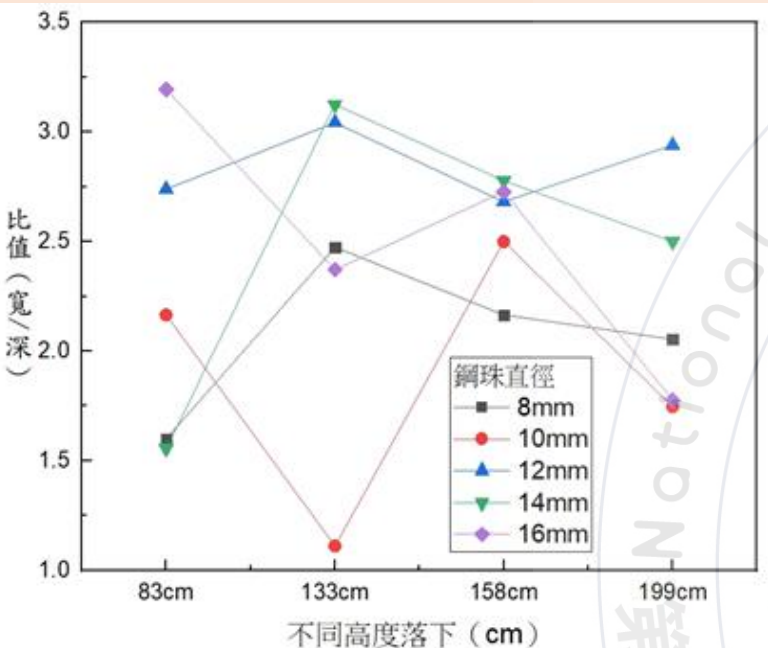
接觸面為大粒徑砂土時，在不同鋼珠直徑及不同投射角度下形成的坑洞寬深比。



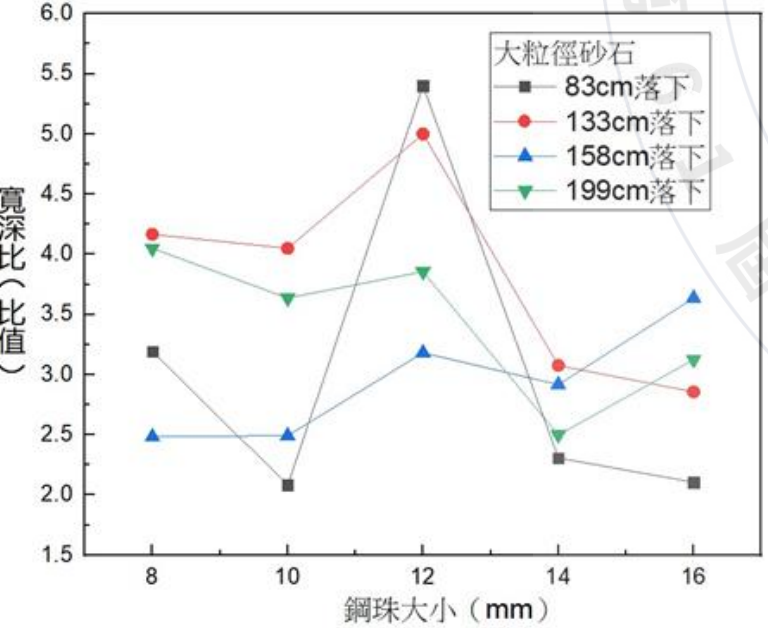
◀ 圖十

接觸面為小粒徑砂土與麵粉2:1混合時，在不同鋼珠直徑及不同投射角度下形成的坑洞寬深比。

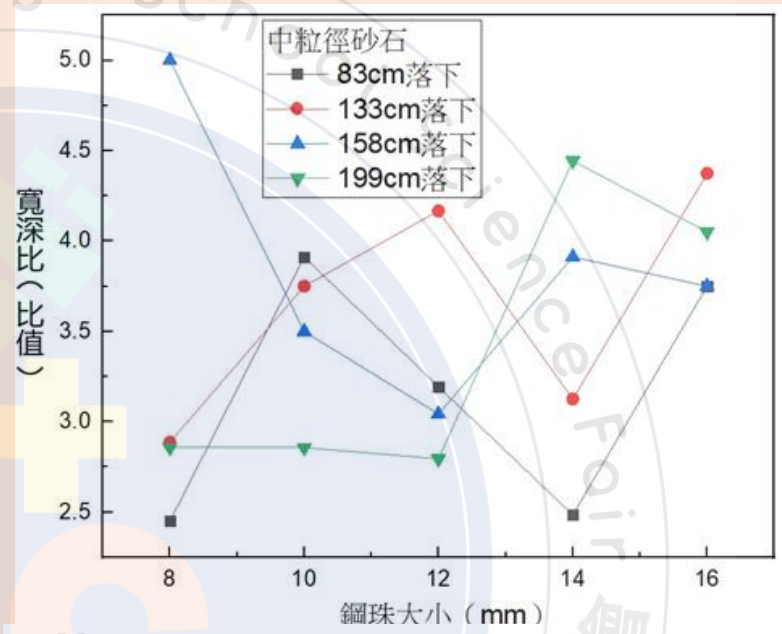
結果與討論 (自由落體)



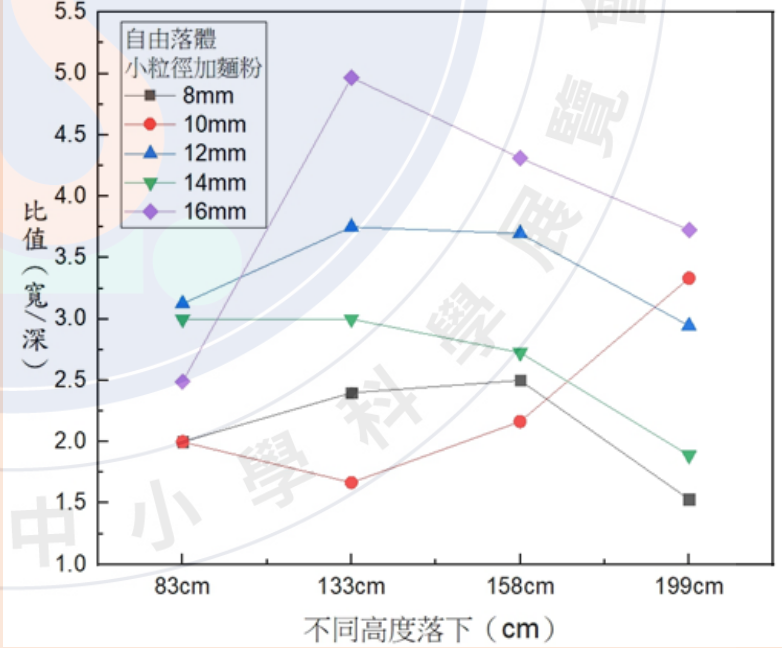
圖十一
接觸面為小粒徑砂土時，在不同鋼珠直徑及不同高度下形成的坑洞寬深比。



圖十三
接觸面為大粒徑砂土時，在不同鋼珠直徑及不同高度下形成的坑洞寬深比。

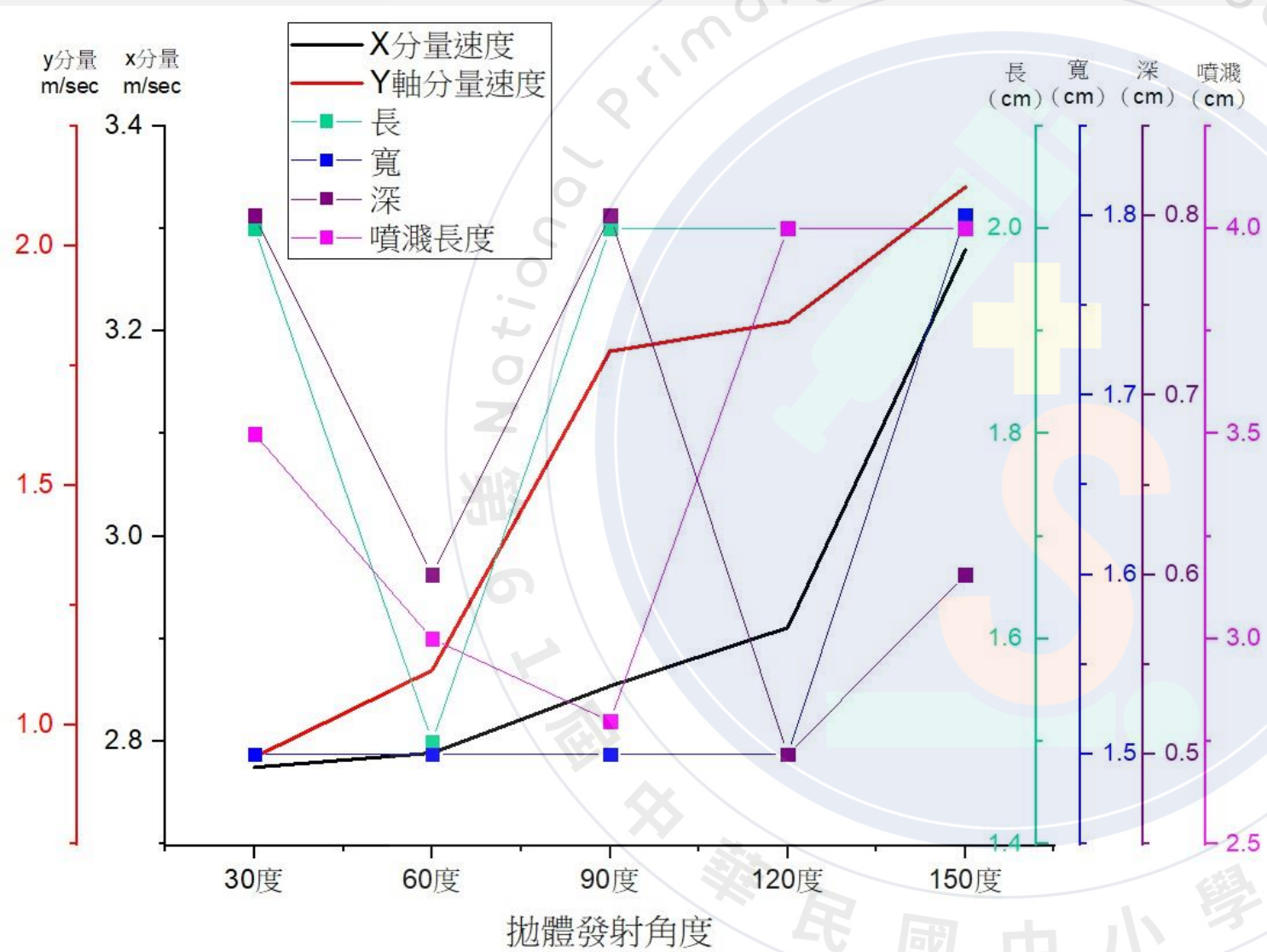


圖十二
接觸面為中粒徑砂土時，在不同鋼珠直徑及不同高度下形成的坑洞寬深比。



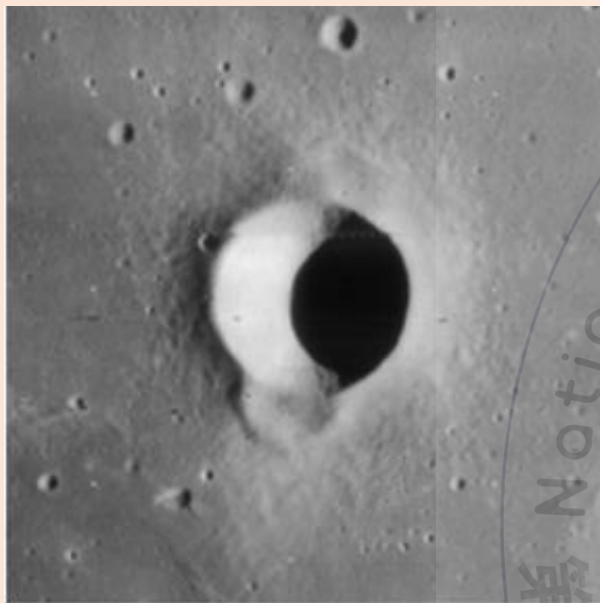
圖十四
接觸面為小粒徑砂土加麵粉(2:1)混合時，在不同鋼珠直徑及不同高度下形成的坑洞寬深比。

結果與討論



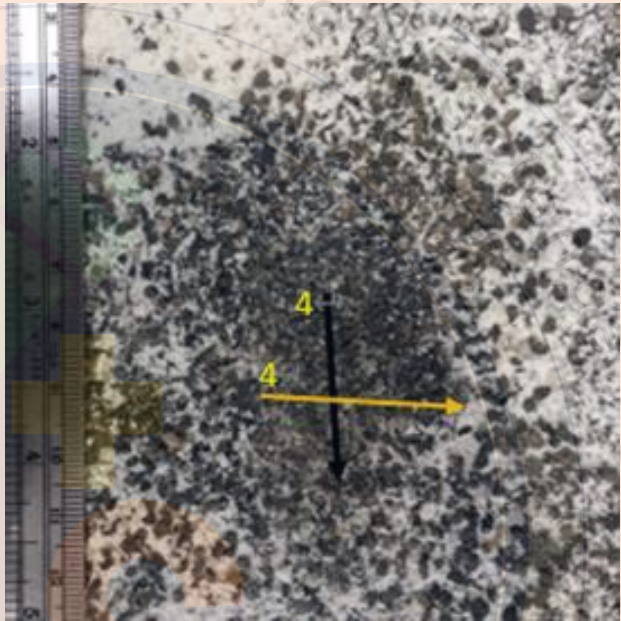
◀ 圖十五
接觸面為小粒徑砂土與麵粉以比例2:1混合時，用直徑為16mm鋼珠及在不同投射角度下形成的坑洞之長、寬、深及混合砂土噴濺距離之相關數據比較。

實際 VS 實驗

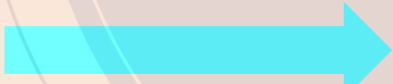
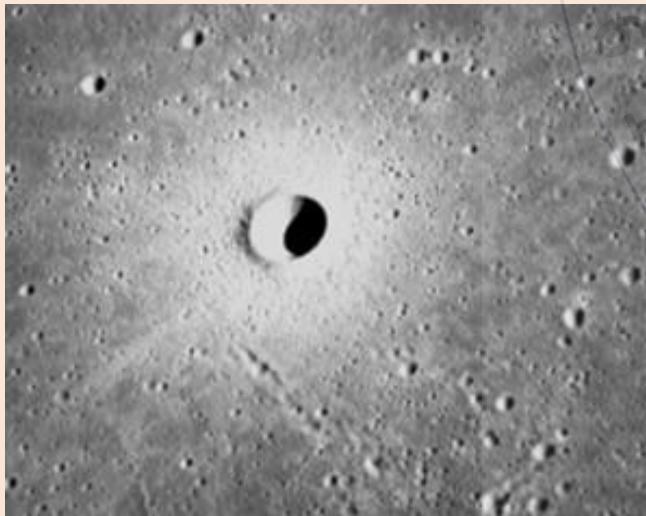


諾曼隕石坑

直徑 9.9公里
深度2.15公里
寬深比值 = 4.605

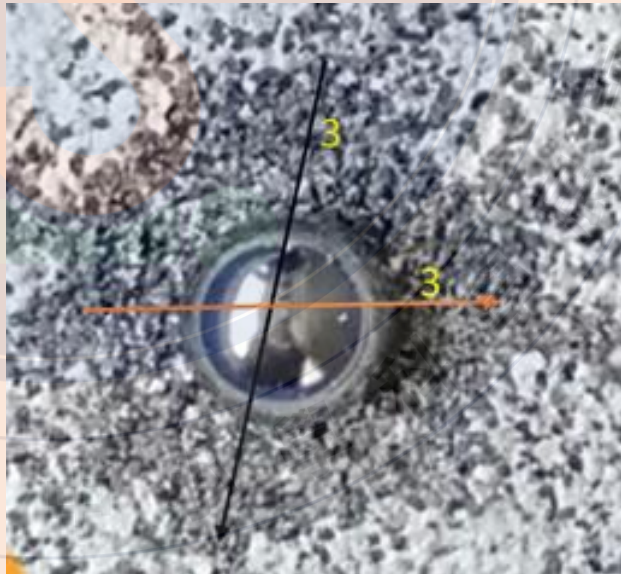


接觸面：大粒徑
拋體：10mm鋼珠
角度：90度角
結果：直徑 4公分
深度 0.9 公分
寬深比值 = 4.4



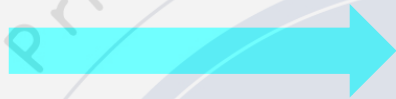
林奈隕石坑

直徑 2.23公里
深度 0.6 公里
寬深比值 = 3.717



接觸面：中粒徑
拋體：16mm鋼珠
自由落體
結果：直徑 3公分
深度 0.8公分
寬深比值 = 3.75

實際 VS 實驗

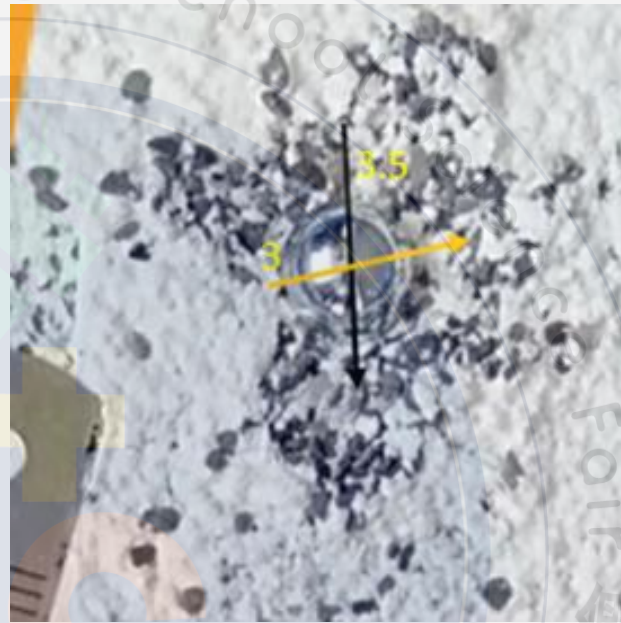


列昂尼德隕石坑

直徑 0.10公里

深度 0.02公里

寬深比值 = 5



接觸面：大粒徑

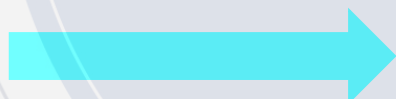
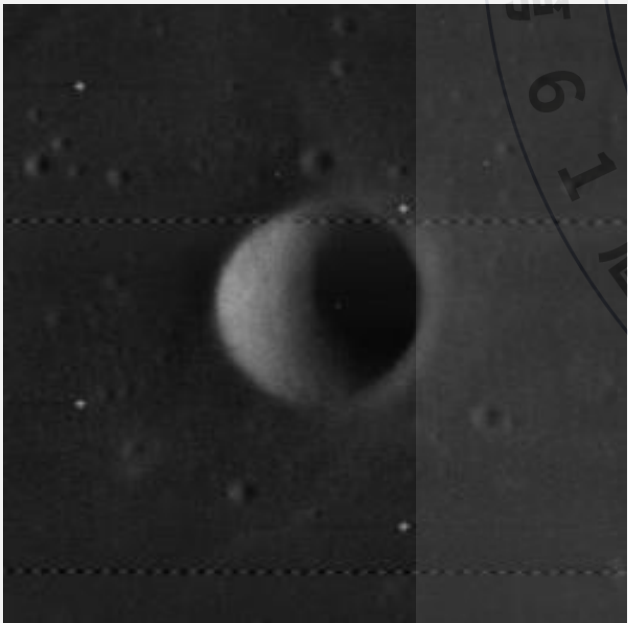
拋體：12mm鋼珠

自由落體，高度83公分

結果：直徑 3公分

深度 0.6公分

寬深比值 = 5



利伯希隕石坑

直徑 6.7公里

深度 1.36公里

寬深比為4.92



接觸面：大粒徑

拋體：12mm鋼珠

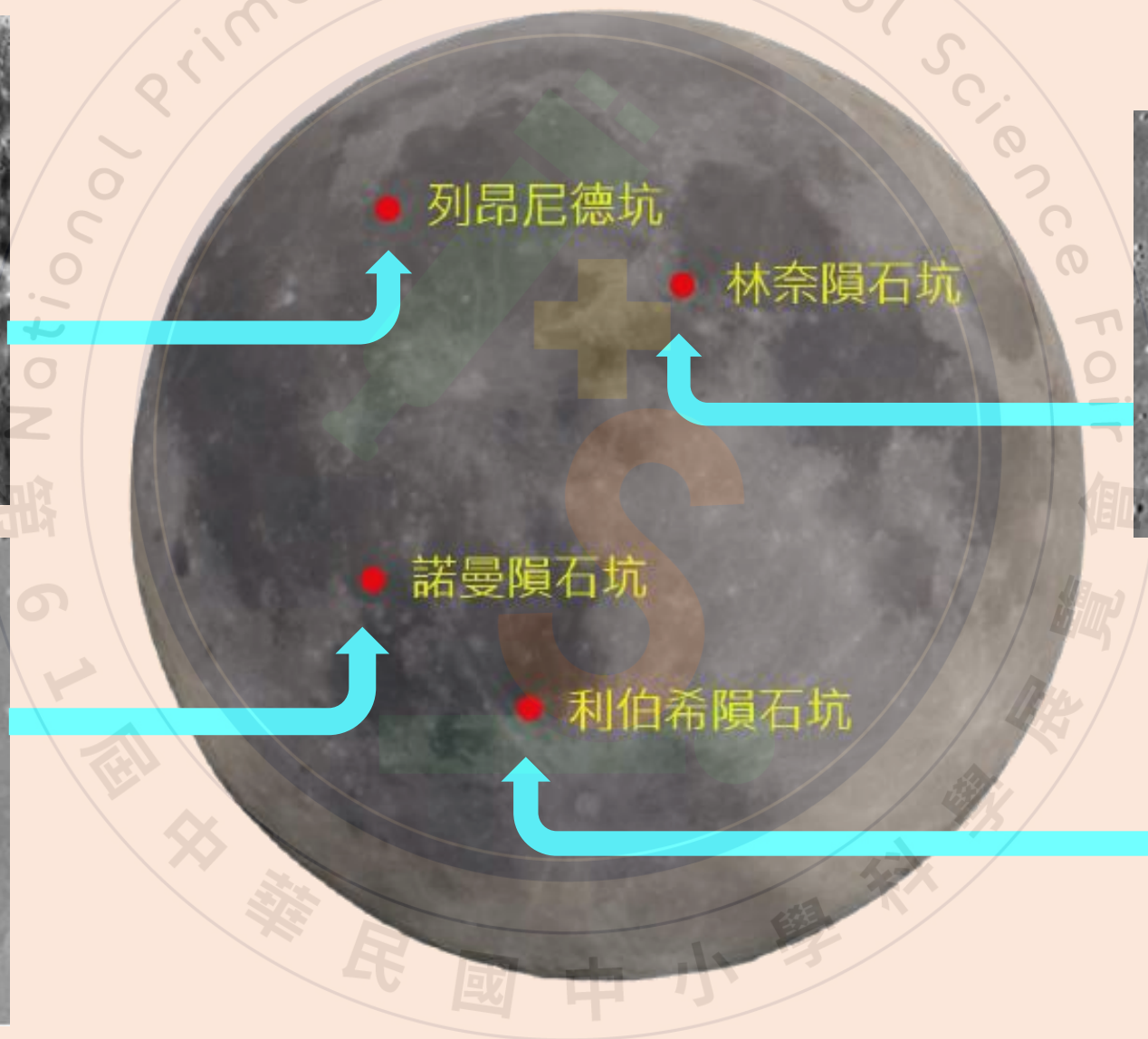
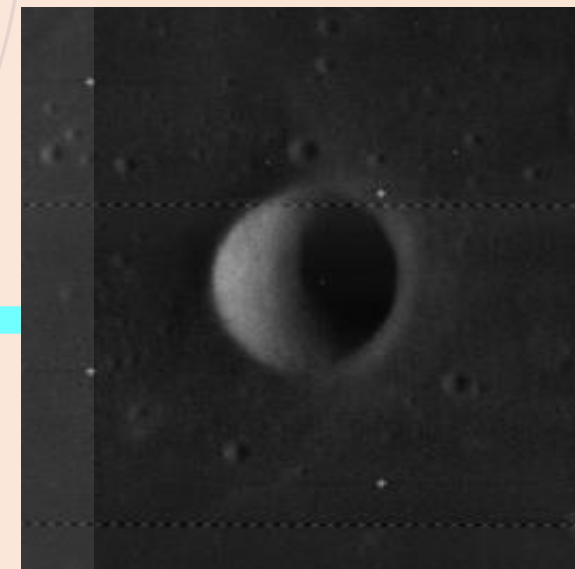
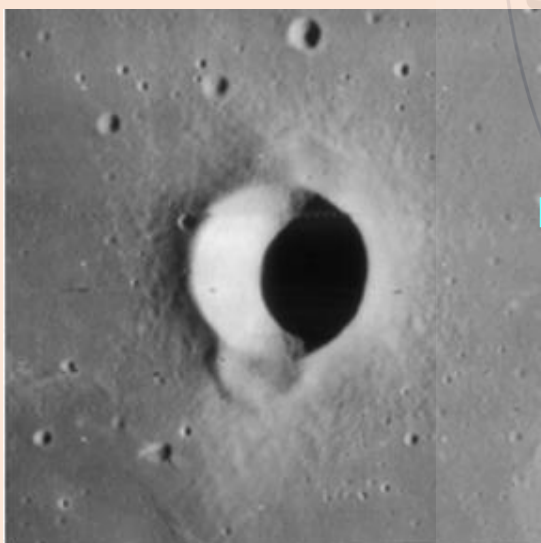
自由落體，高度133公分

結果：直徑 4公分

深度 0.8公分

寬深比值 = 5

隕石坑實際位置



結論

由以上實驗可以得出以下五點結論：

- 一、斜拋運動中，依據不同的拋體與接觸面的材質比較如下：
 - 接觸面為小粒徑材質，鋼珠越重則寬深比值則越大，形似橢圓，顯見如果隕石重量越重則寬度更寬，而月球表面深度大多不深，多數文獻顯示約 6 Km。
 - 接觸面為中粒徑材質，鋼珠越大反而坑洞寬深比愈小，較不接近一般月球坑洞之情形。
 - 接觸面大粒徑材質，只有在 120° 角度時鋼珠越大反而坑洞寬深比愈小，其餘呈現較不規則之寬深比。
- 二、自由落體運動中，不同鋼珠與接觸面材質皆有「鋼珠粒徑愈大寬深比值越大」之情況。其中：
 - 接觸面為小粒徑材質，寬深比大小差異不大，但較比其斜拋之寬深比小許多，比較接近大部分月球隕石坑之實際寬深比值。
 - 接觸面為大粒徑材質，鋼珠為粒徑 12 mm 走勢比較一致，坑洞寬深比會應該因為寬度越大而比值增加。月球隕石坑的深度並不深，坑洞寬深比會應該因為寬度越大而比值增加，在此實驗中很明確可以得到此結果。
 - 接觸面為小粒徑加上麵粉，量測坑洞的深度趨於一致，寬度則與重量呈正相關。

結論

- 三、橡皮筋束越多(施力越大), Y軸的分量越小, 反而X軸分量越大。
- 四、鋼珠粒徑越大則寬度與深度都是成現正相關, 意即鋼珠的重量愈大則寬度與深度都是呈現漸增趨勢, 但比值漸大。
- 五、拋體運動: 接觸面為小粒徑砂石加上麵粉, 比例為2: 1混合層; 鋼珠為16 mm; 在任何角度的拋體運動所形成的坑洞寬深比皆與隕石坑相似。自由落體: 接觸面為大粒徑砂石; 鋼珠為16 mm; 掉落高度為任意高度皆可。

感謝指導

