

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

031729

隕石撞月球-探討月球構造

學校名稱：臺中縣立大雅國民中學

作者： 國二 林洵鋌 國二 廖美倫 國二 吳方彰 國二 張芷瑜	指導老師： 陳盈昌
---	--------------

關鍵詞：隕石坑 月海

隕石撞月球—探討月球構造

壹、摘要

經過一次天文研習營，我們對月球產生很大的興趣，進而展開一連串研究月球的過程。

首先，我們利用天文望遠鏡和相機拍下月球表面圖，算出隕石坑的直徑深度比。接著模擬各種隕石撞擊月面的情形，包括不同的沙子大小，隕石大小，入射角度，入射速率及地下層結構，並量出模擬隕石坑的直徑深度比。

最後將月球表面圖上所選取的隕石坑的直徑深度比和模擬撞擊實驗的比值比做比較，找出較吻合的情況，來研究月球的結構。根據比較的結果我們推測月球以前內部可能有類似地球軟流圈的構造，也可能是有些空洞，或都是硬的岩石。

模擬撞擊是輔助我們了解月球結構的方法，但受限於月球的歷史很長，無法推斷隕石撞擊的時間及隕石坑的風化速率，因此誤差在所難免。

貳、研究動機

去年冬天，我們去參加苑裡高中所舉辦的天文研習營。其中有項活動是要我們練習用天文望遠鏡觀察月球表面。我們發現月球表面盡是些大大小小的隕石坑。而且，這些隕石坑的深度看起來也不一樣呢。於是，在好奇心的驅使之下，我們決定要研究隕石坑，來探索月球的奧秘。

參、研究目的

- 一、計算月球隕石坑的直徑深度比
- 二、模擬隕石撞擊月球的各種情形，求取坑洞的直徑深度比
- 三、比較月球隕石坑與模擬撞擊的關聯

肆、研究器材及其功用

- 一、照月球表面圖
 - (一)、反射式天文望遠鏡（如圖 1）
 - (二)、單眼數位相機（如圖 2）



圖 2 · 單眼數位相機



圖 1 · 反射式天文望遠鏡

二、模擬隕石撞擊月球的裝置

(一)、發射器 (如圖 5、圖 6)

1. 材料

(1) 鋼珠：模擬隕石，直徑由大到小分三種。

(如圖 3)

- 大—直徑：2.3 公分
- 中—直徑：1.9 公分
- 小—直徑：1.7 公分
- 最小—直徑：1.0 公分



圖 3 · 各種鋼珠大小

(2) 紙黏土：模擬隕石，共有六種形狀。(如圖 4)

圓柱體—高：1.4 公分、直徑：1.3 公分

正方體—高：1.5 公分、寬：1.2 公分

長方體—高：1.8 公分、寬：1.1 公分

圓錐體—高：1.7 公分、直徑：1.6 公分

三角錐—底：1.8 公分、高：1.5 公分、
寬：0.9 公分



圖 4 · 各種形狀的黏土

(3) 壓克力條：固定發射位置，增加發射速度。

(4) 瓶蓋：放置鋼珠、紙黏土……等模擬隕石的物體。

(5) 彈簧：增加發射力道，長度：7 公分。

(二)、地面模型

1. 沙 子：鋪在地下層之上，共分為

- 大 (網距：0.73 mm)
- 中 (網距：0.39 mm)
- 小 (網距：0.13 mm)

2. 地下層：

- 磚塊 (模擬硬狀材質)
- 塑膠袋 + 水 (模擬水狀材質)
- 黏土 + 保鮮膜 (模擬軟狀材質)
- 塑膠袋 + 空氣 (模擬空心狀材質)

3. 地上層：

材質：石膏粉 + 水，硬化後，蓋在地下層上。

(三)、發射器支架：固定發射器。

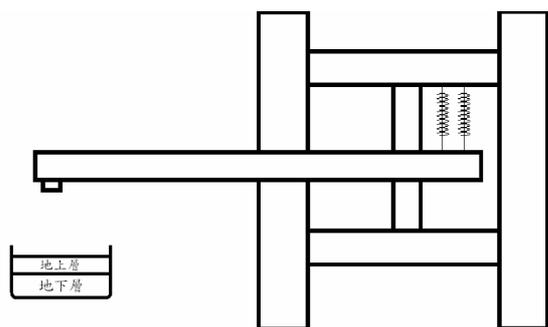


圖 5 · 裝置簡圖

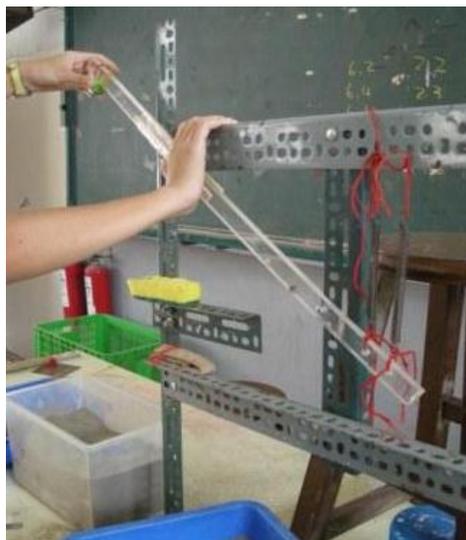


圖 6 · 裝置實圖

伍、研究過程

一、計算月球隕石坑的直徑深度比

- (一)、查詢月亮出現時刻。
- (二)、照相並選取邊緣影子較明顯處。
- (三)、將相片放大並找圓心。
- (四)、量取與坑洞相關的數據。
- (五)、計算照片上隕石坑的半徑與深度以求直徑深度比。

註：算法詳見附錄一。

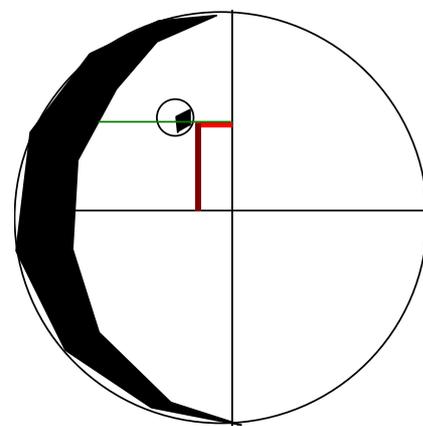


圖 7：線段測量圖

二、以下述六種情形來模擬隕石撞擊月球的實驗，求取坑洞的直徑深度比

(一)、不同隕石大小對隕石坑的影響

1 · 實驗條件：

- (1) 當沙子大小：大、沙堆厚度：5 公分、彈簧伸長量：4 公分、鋼珠射入角度：90 度時，改變鋼珠大小。
- (2) 當沙子大小：中、沙堆厚度：5 公分、彈簧伸長量：4 公分、鋼珠射入角度：90 度時，改變鋼珠大小。
- (3) 當沙子大小：小、沙堆厚度：5 公分、彈簧伸長量：4 公分、鋼珠射入角度：90 度時，改變鋼珠大小。

2 · 實驗方法：依上述實驗條件，將不同大小的鋼珠射入沙堆，測量鋼珠沒入沙堆後形成的洞的直徑、深度，並求其 5 次平均直徑、深度及直徑深度比。

(二)、不同表面厚度對隕石坑的影響

- 1 · 實驗條件：當沙子大小：中、小鋼珠、彈簧伸長量：4 公分、鋼珠射入角度：90 度時，改變沙堆厚度。

2. 實驗方法：依上述實驗條件，將鋼珠射入厚度不同之沙堆，測量鋼珠沒入沙堆後形成的洞的直徑及深度，並求其5次平均直徑、深度及直徑深度比。

(三)、隕石入射速度快慢對隕石坑的影響

1. 實驗條件：當沙子大小：中、沙堆厚度：5公分、小鋼珠、鋼珠射入角度：90度時，改變彈簧伸長量。
2. 實驗方法：依上述實驗條件，將鋼珠以不同速度射入沙堆，測量鋼珠沒入沙堆後形成的洞的直徑及深度，並求其5次平均直徑、深度及直徑深度比。

(四)、地下層的結構對隕石坑的影響

1. 實驗條件：
 - (1) 當地下層：磚塊（厚度7公分）、沙子大小：中、小鋼珠、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，改變沙堆厚度。
 - (2) 當地下層：水+塑膠袋（厚度3.5公分）、沙子大小：中、小鋼珠、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，改變沙堆厚度。
 - (3) 當地下層：黏土+保鮮膜（厚度2.5公分）、沙子大小：中、小鋼珠、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，改變沙堆厚度。
 - (4) 當地下層：空氣+塑膠袋（厚度6公分）、沙子大小：中、小鋼珠、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，改變沙堆厚度。
 - (5) 當沙堆厚度：2公分、小鋼珠、沙子大小：中、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，改變不同地下層。
 - (6) 當沙堆厚度：3公分、小鋼珠、沙子大小：中、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，改變不同地下層。
2. 實驗方法：當依上述實驗條件，將鋼珠射入不同地下層的沙堆，測量鋼珠沒入沙堆後形成的洞的直徑、深度，並求其5次平均直徑、深度及直徑深度比。

(五)、地下層內的軟硬度對隕石坑的影響

1. 實驗條件：當地下層厚度：5公分、地上層厚度：0.2公分、小鋼珠、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度、90度
2. 實驗方法：依上述實驗條件，將鋼珠射入石膏中，其上層為硬的、下層為軟的，並拍下鋼珠射入石膏中的照片。

(六)、不同隕石形狀對隕石坑的影響

1. 實驗條件：當沙子大小：中、沙堆厚度：5公分、彈簧伸長量：4公分、紙黏土射入角度：90度時，改變紙黏土形狀。
2. 實驗方法：依上述實驗方法，將不同形狀的紙黏土射入沙堆中，測量鋼珠沒入沙堆後形成的洞的直徑、深度，並求其5次平均直徑、深度及直徑深度比。

三、比較月球隕石坑與模擬撞擊的關聯

將以上實驗所做出的坑洞直徑深度比與月球表面圖隕石坑的直徑深度比做比較。若

是相近，我們就能經由我們的實驗推斷月球的結構。

陸、實驗數據與結果

一、計算月球隕石坑的直徑深度比

於農曆初三、七日、十二日、十五日、十六日時，利用反射式天文望遠鏡和相機拍下月球表面圖。

例：

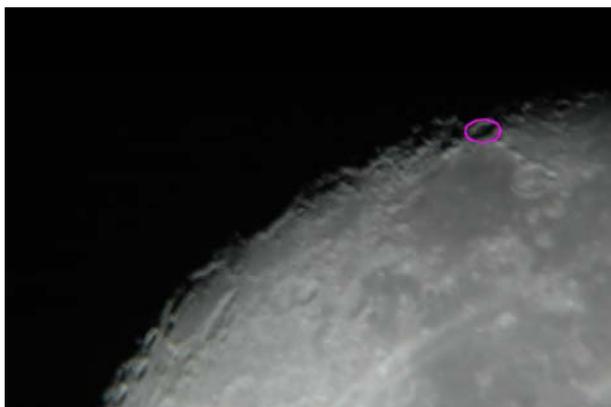


圖 8：十二日隕石坑 2

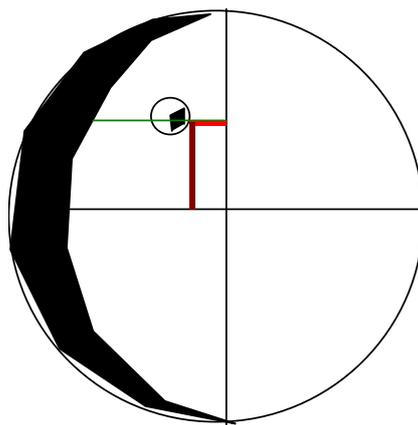


圖 9：線段測量圖

利用尺和圖的線段方式測量圖 8 的十二日隕石坑 2 的最長直徑、最長影長、內弧到子午線、坑頂到子午線、坑頂到赤道的距離。再利用公式（詳見附錄一）算出直徑深度比。

農曆初三、初七、十二日的資料見表 1、表 2 和表 3，而十五號、十六號則用來對照。

表 1 · 農曆初三（4 / 19）

編號	直徑	深度	直徑深度比
3 - 1	1.25	0.205300	6.088637
3 - 2	1.10	0.152584	7.209142
3 - 3	1.00	0.155296	6.439330
3 - 4	1.80	0.488929	3.681514

表 2·農曆七日（12 / 26）

編號	直徑	深度	直徑深度比
7-1	1.50	0.147627	10.16075
7-2	1.60	0.420611	3.803992
7-3	1.40	0.254109	5.509654
7-4	1.75	0.140925	12.41796
7-5	0.85	0.115351	7.368792
7-6	0.90	0.075115	11.98160
7-7	0.90	0.126893	7.092581
7-8	0.90	0.044114	20.40157
7-9	1.10	0.117126	9.391573
7-10	0.99	0.083788	11.81557

表 3·農曆十二日（1 / 30）

編號	直徑	深度	直徑深度比
12-1	1.20	0.058954	20.35484
12-2	1.60	0.101835	15.71163
12-3	1.20	0.065941	18.19799
12-4	1.35	0.008908	151.5438
12-5	1.10	0.157290	6.993434

分析數據：

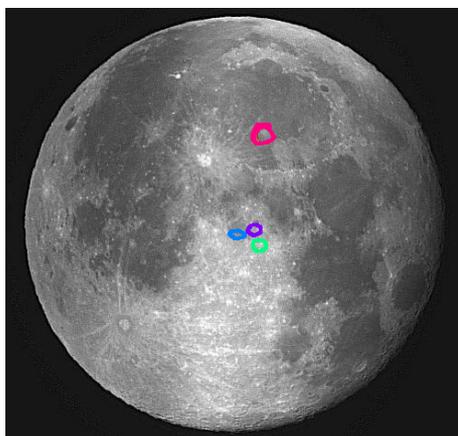


圖 10：分析數據

直徑深度比由大到小為紅、紫、藍、綠色。

二、模擬隕石撞擊月球的各種情形，求取坑洞的直徑深度比

(一)、不同隕石大小對隕石坑的影響

- 1·實驗數據：當沙堆厚度：5公分深、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，紀錄沙子大小不同時，對鋼珠大小不同時所打出的坑洞所產生的不同情形。(見表4、表5、表6)

表 4 · 不同隕石大小（大）對隕石坑的影響（沙子：大）

鋼珠大小	直徑（公分）	深度（公分）	直徑深度比
大	7.50	2.42	3.098
中	8.54	2.14	3.991
小	8.02	2.06	3.893

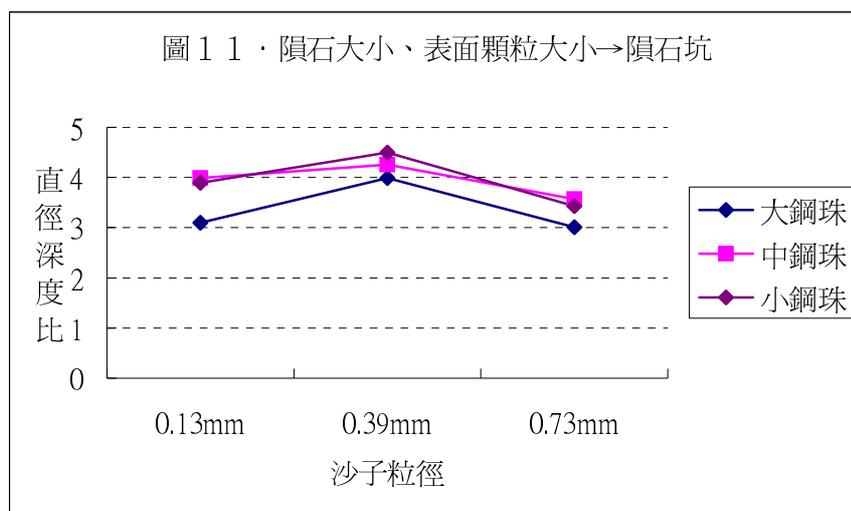
表 5 · 不同隕石大小（中）對隕石坑的影響（沙子：中）

鋼珠大小	直徑（公分）	深度（公分）	直徑深度比
大	8.06	2.02	3.990
中	7.24	1.70	4.258
小	7.02	1.56	4.500

表 6 · 不同隕石大小（小）對隕石坑的影響（沙子：小）

鋼珠大小	直徑（公分）	深度（公分）	直徑深度比
大	5.36	1.78	3.011
中	4.64	1.30	3.569
小	4.18	1.22	3.426

2 · 分析數據：



3 · 實驗結果：經由比較，我們發現當鋼珠大小相同時，表面顆粒越大時，因為顆粒之間的空隙較多，所打出的坑洞會比表面顆粒較小時所打出的坑洞還大。

(二)、不同表面厚度對隕石坑的影響

1 · 實驗數據：當沙子大小：中、小鋼珠、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，紀錄沙堆厚度(1公分~6公分)不同時所打出來的坑洞。(見表10)

表 1 0 · 不同表面厚度對隕石坑的影響

沙堆厚度	直徑(公分)	深度(公分)	直徑深度比
1公分	6·44	1·00	6·440
2公分	7·00	1·56	4·487
3公分	7·40	1·58	4·684
4公分	6·62	1·62	4·086
5公分	7·24	1·70	4·258
6公分	7·28	1·70	4·282

2·實驗結果：經由比較，我們發現，當表面厚度越厚時，所打出的坑洞就會越大（直徑深度比越小）。而且測到6公分時，跟前面4、5公分所測出的直徑深度比比較，發現它們的數據極為相近。由此可知，它已達極限。依此現象，我們得知實驗五地下層結構實驗的沙堆厚度只能到3公分。

(三)、隕石入射速度快慢對隕石坑的影響

1·實驗數據：當沙子大小：中、沙堆厚度：5公分、小鋼珠、鋼珠射入角度：90度時，紀錄彈簧伸長量不同時所打出來的坑洞。（見表11）

表 1 1 · 隕石入射速度快慢對隕石坑的影響

彈簧伸長量	直徑(公分)	深度(公分)	直徑深度比
4公分	6·82	1·88	3·62
1·7公分	6·30	1·84	3·42
0公分	4·88	1·52	3·21

2·實驗結果：經由比較，我們發現當彈簧深長量最大時，所打出的坑洞的直徑和深度都會最大。而當鋼珠是自由落下時，所打出的坑洞的直徑和深度都會最小。

(四)、地下層的結構對隕石坑的影響

1·實驗數據

- (1) 當地下層：磚塊（厚度7公分）、沙子大小：中、小鋼珠、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，紀錄沙堆厚度不同時所打出來的坑洞。（見表12）
- (2) 當地下層：水+塑膠袋（厚度3·5公分）、沙子大小：中、小鋼珠、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，紀錄沙堆厚度不同時所打出來的坑洞。（見表13）
- (3) 當地下層：黏土+保鮮膜（厚度2·5公分）、沙子大小：中、小鋼珠、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度：90度時，紀錄沙堆厚度不同時所打出來的坑洞。（見表14）
- (4) 當地下層：空氣+塑膠袋（厚度6公分）、沙子大小：中、小鋼珠、彈簧伸長量：

4公分、鋼珠射入角度：90度時，紀錄沙堆厚度不同時所打出來的坑洞。（見表15）

表12·地下層的結構（磚塊）對隕石坑的影響

沙堆厚度	直徑（公分）	深度（公分）	直徑深度比
0·3公分	3·58	0·37	9·676
0·5公分	5·98	0·88	6·795
1公分	7·34	1·36	5·397
2公分	8·78	2·16	4·065
3公分	8·60	2·08	4·135
4公分	8·16	2·08	3·923

表13·地下層的結構（水+塑膠袋）對隕石坑的影響

沙堆厚度	直徑（公分）	深度（公分）	直徑深度比
2公分	8·64	1·72	5·023
3公分	7·26	1·90	3·821
4公分	6·88	1·78	3·865

表14·地下層的結構（黏土+保鮮膜）對隕石坑的影響

沙堆厚度	直徑（公分）	深度（公分）	直徑深度比
1公分	6·34	1·58	4·013
2公分	7·14	1·66	4·301
3公分	7·08	1·76	4·023
4公分	7·10	1·82	3·901

表15·地下層的結構（空氣+塑膠袋）對隕石坑的影響

沙堆厚度	直徑（公分）	深度（公分）	直徑深度比
3公分	5·90	1·12	5·268
4公分	6·98	1·62	4·309

(五)、地下層內的軟硬度對隕石坑的影響

- 1·實驗數據：當地下層厚度：5公分、地上層厚度：0.2公分、小鋼珠、彈簧伸長量：4公分、鋼珠射入角度、90度，紀錄地上層、地下層軟硬度不同時所打出來的坑洞。（見圖11、圖12）



圖 1 1 · 地下層內的軟硬度
對隕石坑的影響 (1)



圖 1 2 · 地下層內的軟硬度
對隕石坑的影響 (2)

2 · 實驗結果

我們推測隕石坑的周圍可能會形成幾道裂縫，

(六)、不同隕石形狀對隕石坑的影響

1 · 實驗數據

當沙子大小：中、沙堆厚度：5 公分、彈簧伸長量：4 公分、紙黏土射入角度：9 0 度時，紀錄紙黏土形狀不同時所打出來的坑洞。(見表? !)

表 1 7 · 不同隕石形狀對隕石坑的影響

紙黏土形狀	形狀	例圖	深度(公分)
正方體	類似和圓形相似， 四邊有稜角		1 · 3 0
橢圓體	類似橢圓形		1 · 0 6
長方體	類似圖 2，但四邊 有稜角		1 · 1 0

三角錐	近似圓形，但三邊有稜角		1 · 0 2
-----	-------------	--	---------

三、比較月球隕石坑與模擬撞擊的關聯

(一)、(隕石大小、表面顆粒→隕石坑)和實際月球隕石坑照片上的直徑深度比做比較。

經由比較，發現：

- 1 · 當表面顆粒為大，鋼珠大小為中、表面顆粒為大，鋼珠大小為小，表面顆粒為中，鋼珠大小為大時，所打出的坑洞的直徑深度比與十二日的坑 2 較為相近。
- 2 · 當表面顆粒最小，鋼珠大小為中、表面顆粒最小，鋼珠大小為小時，所打出的坑洞的直徑深度比與初三的坑 4 較為相近。

因此，我們推測月球上我們編號的坑的地方，地層較硬而表面的顆粒較大。

(二)、(表面厚度→隕石坑)和實際月球隕石坑照片上的直徑深度比做比較。

經由比較，發現：當表面顆粒的厚度為 1 公分時，所打出的坑洞的直徑深度比與三日的坑 3 較為相近。

因此，我們推測月球上我們編號坑 3 的地方的地層較硬而表面的顆粒厚度較淺。

(三)、(入射速度→隕石坑)和實際月球隕石坑照片上的直徑深度比做比較。

經由比較，發現：

- 1 · 當彈簧伸長量為 4 公分時，所打出的坑洞的直徑深度比與三日的坑 4 較為相近。
- 2 · 當彈簧伸長量為 3 · 5 公分時，所打出的坑洞的直徑深度比與十二日的坑 4 較為相近。
- 3 · 當彈簧伸長量為 7 公分時，所打出的坑洞的直徑深度比與十二日的坑 8 較為相近。

因此，我們推測若是隕石撞擊時速度很慢，所產生的坑洞會較小。但若是隕石撞擊時速度很快，會比較它慢些的撞擊速度所產生的坑洞還小(四)、入射角度→隕石坑)和實際月球隕石坑照片上的直徑深度比做比較

經由比較，發現：

- 1 · 當入射角度為 2 0 度和 6 0 度時，所打出的坑洞的直徑深度比與十二日的坑 6 較為相近。
- 2 · 當入射角度為 4 0 時，所打出的坑洞的直徑深度比與十二日的坑 8 較為相近。

因此，我們推測若是隕石的入射角度是 4 0 度時，所產生的坑洞會比入射角度是 2 0 度或 6 0 度時來的大。

(五)、(地下層結構→隕石坑)和實際月球隕石坑照片上的直徑深度比做比較。經由比較，發現：

- 1 · 當地下層為磚塊，沙堆厚度為 1 公分，或當地下層為空氣+塑膠袋，

沙堆厚度為 2 公分時，所打出的坑洞的直徑深度比與十二日的坑 7 較為相近。

- 2 · 當地下層為磚塊，沙堆厚度為 2 公分，或當地下層為黏土 + 保鮮膜，沙堆厚度為 3 公分時，所打出的坑洞的直徑深度比與十二日的坑 8 較為相近。
- 3 · 當地下層為水 + 塑膠袋，沙堆厚度為 2 公分，或當地下層為空氣 + 塑膠袋，沙堆厚度為 3 公分時，所打出的坑洞的直徑深度比與十二日的坑 4 較為相近。

因此，我們推論月球內部可能有類似地球暖流圈的構造。

柒、討論

- 一、測量月球的隕石坑的直徑深度比，受限於照片的清晰度，不可避免的會產生些許的誤差。
- 二、月球的隕石坑，因月球的風化速率較地球慢很多，所以容易保持原貌，但是太古老的隕石坑，會因風化時間長，而加大直徑深度比。
- 三、模擬撞擊的裝置，無法完全與事實情況相符，例如隕石的形狀，組成的成分等，我們只能從理想的狀態去著手。
- 四、撞擊的沙子，與月球表面不盡相同，所以只就顆粒大小來討論，無法做成分的比較。
- 五、模擬器受限於器材及安全的因素，無法模擬高速的撞擊，只能就一般的撞擊速率來討論，無法面面俱到。
- 六、模擬結果要套用到月球的表面，會有一定的難度。例如重力問題，大小的問題，這些都是難以模擬的，所以誤差在所難免。

捌、結論

- 一、利用良好的器材及數學運算，可以準確的算出隕石坑的大小，獲得相關的資料，有利於研究月球的構造。
- 二、隕石撞擊到較硬的地底結構，如果深度太淺會在彈開後，留下較小的坑洞。而如果深度夠沒彈開，就會產生較寬而淺的坑洞。
- 三、推論出來的結果，其組合可能有好幾種。套用在月球表面上，有許多不同的可能性。
- 四、月球以前內部可能有類似地球軟流圈的構造，也可能是有些空洞，或都是硬的岩石。
- 五、因為我們無法分辨那些隕石所產生的年代，所以我們做出的結果可能是很久以前月球的狀態，而不是現今的狀態，所以，作此實驗也可推論月球的歷史。

玖、參考資料

- 一、三角函數：<http://webcai.math.fcu.edu.tw/course/tri/definition/tridefinition.htm>

- 二、 氣象局（台中地區月出月沒時刻表）：<http://www.cwb.gov.tw/>
- 三、 月球隕石坑：<http://www.tyhs.edu.tw/campus/khasjn2712.htm>
- 四、 地球與月球的表面溫度：<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1005021103298>
- 五、 地球上最大的隕石坑：<http://www.tam.gov.tw/news/2006/200606/06060901.htm>
- 六、 隕石坑：<http://stumail.nutn.edu.tw/~s09455021/pro.htm>
- 七、 整體月象大彩圖：啓思文化事業有限公司（2005年）

拾、附錄

一、月球隕石坑直徑深度比計算

作法：

1. 利用圓任兩弦的中垂線會交於圓心的方式，作數條垂直線，找出圓心，並求圓半徑。
2. 描出圓的外弧，再描出內弧。內弧交外弧於 A、B 兩點，並連接 AB。
3. 作一條過 AB 線段和圓心的垂直線。
4. 挑一些影長、輪廓較明顯的坑洞，編號後分別測量：
 - (1) 坑的最長直徑
 - (2) 坑的最長影長
 - (3) 坑頂→赤道垂直距
 - (4) 坑頂→子午線垂直距
 - (5) 坑頂所對內弧→子午線垂直距
5. 利用以上數據和公式：
 - (1) 計算坑頂所在的經緯度
 - (2) 計算坑頂的陽光入射角
 - 計算黑暗邊緣的經度
 - 計算坑頂的陽光入射角
 - 利用紙上影長換算成實際影長
 - 利用前兩項算出直徑深度比

【評語】

031729 隕石撞月球-探討月球構造

1. 本作品在測量月面坑洞直徑與深度比方面相當有意義，可惜對坑洞深度測量細節著墨不深，也沒有理論性的探討。
2. 在模擬方面，沒有任何連接撞擊實驗與實際(隕石)高速撞擊間的理論。