

新竹市第四十三屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：物理

組 別：國小乙組

作品名稱：參「時」而「粒」--顆粒流與自製沙漏的製作與研究

關 鍵 詞：顆粒流、沙漏、計時工具

編 號：

摘要

這項研究探討了顆粒流在不同條件下的流動行為，並嘗試找出適合製作沙漏的顆粒流組合。研究結果顯示，並非所有 17 種顆粒都能順利流動，且顆粒的彈性與堆疊程度對流動性的影響並不如預期顯著。相較之下，顆粒大小與質量是影響流動的主要因素。當開口大小超過顆粒質量的 4-5 倍時，顆粒才能順利流動，而增加傾斜角度則降低此比例。此外，顆粒形狀亦影響流動性，並非直徑越小就越容易流動。

研究發現，流動的完整性受傾斜角度影響， 60° 時殘餘較少，顯示頸壁角度對顆粒流的後期流動影響顯著。混和顆粒流的特性也影響流動行為，其中直徑或質量較大的顆粒主導流動特性，尤其在高傾斜角度或高速流動時更為明顯。最適合製作沙漏的組合為紅豆與白芝麻以 1:2 比例混合，配合 45° 傾斜與 1.5 公分開口的設計，可確保流動穩定。

壹、研究動機

「叮叮叮叮!」「弟弟!快點起床，不要拖拖拉拉的，都已經叫你好幾次了，鬧鐘也響好久了，你到現在還在睡覺!!你可別害我遲到呀!不然我又要被老師罵了!」每次弟弟總是賴床，我一叫他，才剛把他拉起來，又倒頭呼呼大睡了。這些鬧鐘就如同裝飾一般，完全沒有辦法叫醒貪睡蟲弟弟，害我一而再，再而三的遲到。

就這樣生活中，我們每天都必須面對最大的助手兼敵人——時間。例如說：無聊的數學課有 40 分鐘，但下課喝水、聊天還有看小說的時間，卻只有短短的 10 分鐘，根本不夠!

我常常在感到時光荏苒，白駒過隙，時間永遠不夠，但有時又很漫長，這時我看了一眼桌上的沙漏，突然興起了一個念頭……我很好奇，僅僅是一些經過處理，但還是微乎其微，極為渺小的沙粒或塑膠顆粒。它們也能夠極致的發揮自己的作用，成為一種計時工具，演變成現在隨處可見的手錶、時鐘。同時也成為現在人類不可或缺，必不可少的日常生活用品。雖然手錶及時鐘極為方便，但在獨立研究教室裡緩緩落下沙粒的沙鐘還是能吸引我的目光，在一次獨立研究課時，我們發現教室裡每個標榜五分鐘的沙漏卻有著極大的落差，這在現在製作工藝進步的現代也太不思議了吧!於是我們決定要自製一個沙漏，並了解老師所說的顆粒流現象。

貳、研究目的與待答問題

研究目的

- 一、了解顆粒流的特性及研究。
- 二、理解沙漏的原理。
- 三、設計製作自製沙漏。
- 四、尋找適合自製沙漏的顆粒流。

待答問題

- 一、了解顆粒流的特性為何？
- 二、了解前人們對於顆粒流及沙漏的研究為何？
- 三、以自製沙漏不同流沙頸口大小探討不同顆粒流變項對於計時準確性的影響為何？
- 四、以自製沙漏不同流沙頸壁傾斜角度探討不同顆粒流變項對於計時準確性的影響為何？
- 五、以不同混和顆粒流比例變項對於自製沙漏計時準確性的影響為何？
- 六、以不同外力影響變項對於自製沙漏計時準確性的影響為何？

參、研究設備及器材

表 3.1 研究器材表

3D 列印機	碼錶	手機(慢動作攝影)	白米
糙米	黃豆	蓮子	BB 彈
黑芝麻	黑豆	西谷米	白芝麻
串珠	電子秤	量角器	鐵架
調速往複式震盪機	調速迴旋式震盪機	直尺	漏斗



圖 3.1 3D 列印件示意圖



圖 3.2 電子秤示意圖



圖 3.3 BB 彈示意圖



圖 3.4 紅豆示意圖

肆、製作過程及方法

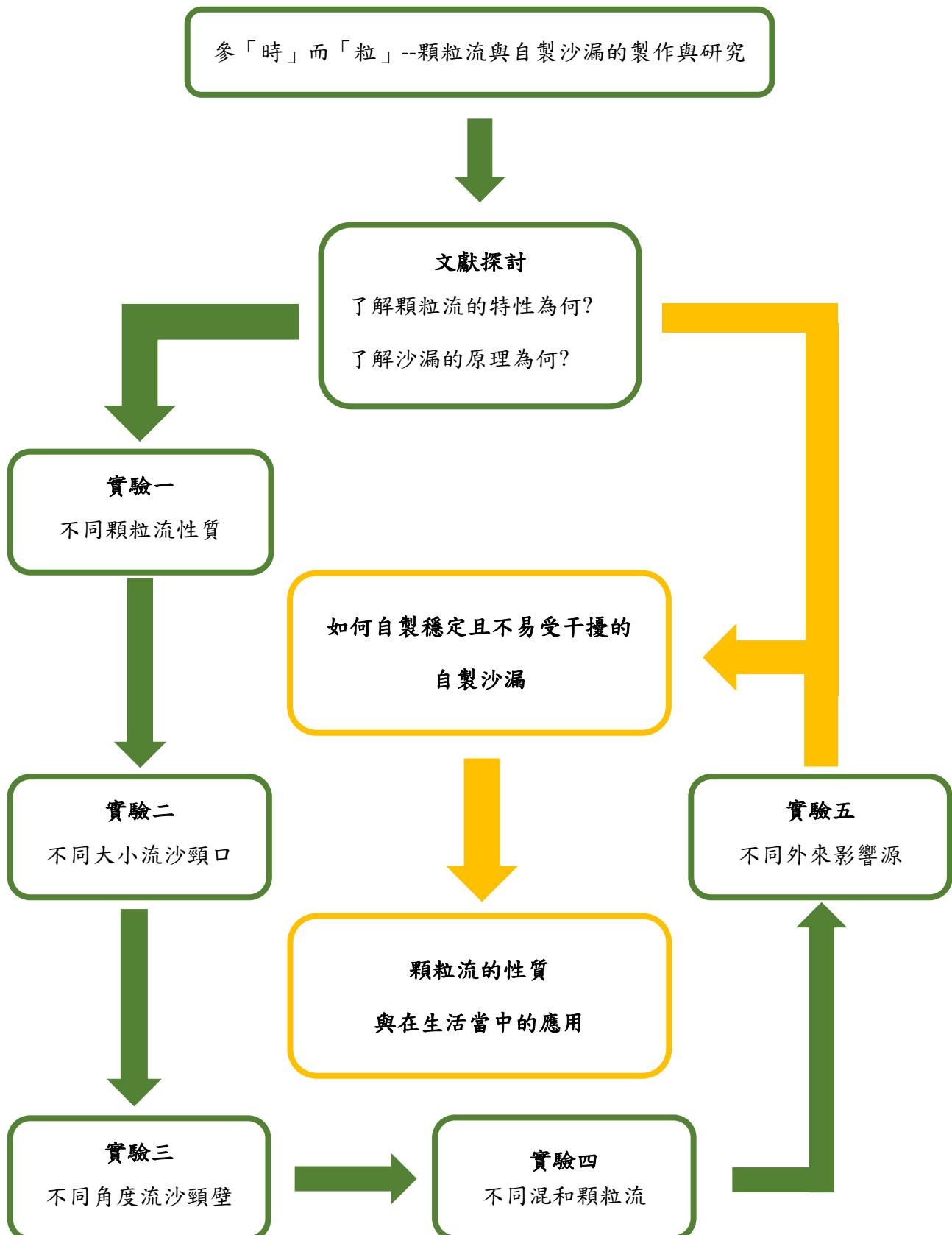


圖 4.1 研究流程示意圖

一、文獻探討

在本實驗在進行前，我們有查詢資料有關於之前有關於顆粒流及沙漏的研究外，為了避免實驗的嚴謹性我們做了之前研究的特色及簡介並以釐清我們想要的研究方向與目標。

表 4.1 文獻探討整理表

	文獻	出處	對象	變因	摘要	特色
沙漏的 <u>秘密</u>	全國科展第44屆	沙漏內沙量、漏孔徑大小、壁傾斜角度	沙漏內沙	1.沙漏內沙量 2.漏孔徑大小 3.壁傾斜角度流速的影響。	沙漏內沙量多寡、孔徑大小、壁傾斜角度對計時之影響。 沙漏流量的等速性探討。 沙漏內沙粒移動方式的探討。 沙漏孔徑與砂粒直徑關係的探討。 不同材質沙漏對計時的影響擺放位置傾斜角度對計時的影響 沙漏計時誤差關係的探討 溼度、溫度、高度、氣壓等其他因素對計時的探討	研究沙漏內沙量多寡、孔徑大小、壁傾斜角度對計時之影響。
天地一沙間	全國科展第47屆	斜坡角度、顆粒流	斜坡角	1.斜坡角度 2.顆粒材質 3.高度	我們選擇不同材質的顆粒，最後我們發現同一材質的顆粒會形成差不多的斜坡角度(35度)，而且決定斜坡角度的主要因素與材質本身相關。	本作品研究多種材質對於斜坡角度有甚麼關係。
從 <u>固體對流</u> 探討 <u>顆粒體的混合與分離</u>	全國科展第51屆	顆粒體	顆粒體	1.顆粒粒徑比 2.不同形狀 3.光滑程度	探討顆粒體的密度、形狀、表面光滑程度、粒徑比、顆粒覆上的液體黏滯性及振動方式等因素對顆粒流的影響。 實驗結果發現：主顆粒表面光滑、背景顆粒表面粗糙且顆粒細長時，主顆粒較易被推擠上升。 當主顆粒及背景顆粒表面覆上液體時，當液體的黏滯力愈大，對流速率減慢。 振動方式會影響背景顆粒的流動效果。	用震動器發現顆粒混合與分離的方法，清楚的了解粒徑等控制變因，分析後得到很多有趣結果。
顆粒體大逃亡	全國科展第57屆	觀察有無障礙物的軌道中，顆粒體的流動現象。	觀察有無障礙物。	1.有無障礙物。 2.改變障礙物與開口距離。 3.改變障礙物尺寸。 4.觀察擺放雙障礙物。	本實驗在開口限縮之傾斜軌道上放置障礙物，觀察顆粒體於軌道上的流動現象。 當單一障礙物在軌道上特定位置時，可明顯增加顆粒體的平均流率(最大可增加達無障礙物時的 55%)，但障礙物的幾何形狀會有所影響。 最後，發現雙障礙物比單障礙物更能提升顆粒體的平均流率(最大可增加達無障礙物時的 60%)，值得進一步探討。	使用障礙物作為主要變因，並記錄了改變障礙物位置、數量和大小對於顆粒體的流動現象。
沙瀑我愛羅的	全國科展	白努力原理、流化	「孔數量、孔距離、孔大小」		利用壓克力盒、沙子、小保麗龍球等簡易材料，自製多種不同排列的孔洞模式來尋	使用彩色保麗龍球，可以看得

流沙忍 術	第 59 屆	軌跡、沙 粒流化	「顆粒大小、沙子 高度、沙子含水 量、氣壓大小」 有無流化對「流沙 下滑速度、體積變 化」 「粗沙與細沙不同 混沙模式」 分層彩沙、密度小 的顆粒(小保麗龍 球)的流化軌跡	找最佳的顆粒流化現象 後利用分層彩沙與彩色小保麗龍球來探討 流化軌跡與流化程度，藉由色層的移動， 成功觀察顆粒流化軌跡的變化	更清楚流化軌 跡，也做了多項 實驗，使實驗更 完整!!
二維顆 粒流體 崩塌倒 序現象 之探討	2012 年臺 灣國 際科 學展 覽會 優勝 作品	顆粒流 崩塌 倒序	1.軌道盒傾斜角度 2.軌道盒側壁傾斜 角度 3.軌道盒出口大小 4.顆粒粒徑	一、顆粒流圖形與表層崩塌角 (一)顆粒流圖形:「V 字下滑」 (二)表層崩塌角: .正向關係: 軌道盒傾斜角 .負向關係: 軌道盒側壁傾斜角、粒徑 .未 知關係: 出口大小。 二、中央線上目標顆粒的落下時間 .正向關 係: 軌道盒側壁傾斜角度 .負向關係: 軌道 盒傾斜角度、出口大小 .未知關係: 粒徑	本研究主要目 的是探討各種 變因對斜面顆 粒流的影響，

從上述的文獻探討中，我們發現目前我們搜尋到有關於顆粒流的流動幾乎全部都是利用壓克力箱模擬平面流動數據，且在其選擇顆粒體時往往選擇較少，並沒有去討論顆粒體的種類與狀態對於顆粒流流動的影響，另外我們也發現將顆粒流與沙漏做結合的研究也極少，所以在經過我們討論後我們的研究將就以下幾點為目標開始進行實驗。

- (一)不同的顆粒流物質選擇及其狀態對於顆粒流流動的影響。
- (二)不同流沙頸口(在本實驗中以下稱為開口大小)對於顆粒流流動的影響。
- (三)不同流沙頸壁角度(在本實驗中以下稱為傾斜角度)對於顆粒流流動的影響。
- (四)不同混和顆粒流(混和兩種顆粒流)對於顆粒流流動的影響。
- (五)不同外來影響(平移、旋轉)對於顆粒流流動的影響。
- (六)找到生活中最適合製作自製沙漏的顆粒流物質。

二、實驗設計

以下本研究將以實驗目的及待答問題進行實驗設計及實驗操作說明

實驗一:不同顆粒流性質的測定

此實驗為了了解不同顆粒流中物質的特性所以設計下列實驗

實驗一之一:顆粒體直徑測量

(一) 實驗說明

我們測量各個顆粒流內容物的直徑，以選擇作為實驗器材的顆粒體。

(二) 實驗目的及步驟：

實驗目的：

測量不同顆粒體的直徑，以便選出適合實驗的顆粒體

實驗步驟：

1. 蒐集市面上各種不同的顆粒體，我們選擇白米、糙米、西谷米、BB 彈、紅豆、黑豆、綠豆、黃豆、蓮子、串珠(2mm、3mm、4mm)、陶瓷石、白芝麻、黑芝麻、黑胡椒和白胡椒作為實驗器材

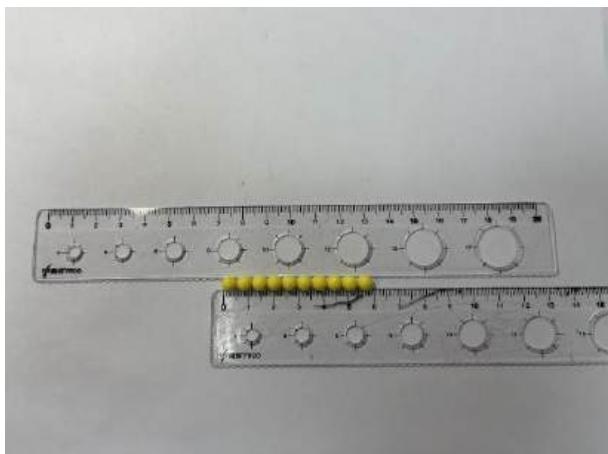


圖 4.5 直徑測量示意圖



圖 4.6 直徑測量實驗示意圖

2. 拿出尺和買好的實驗器材
3. 隨機從包裝中取出 10 顆相同種類的實驗器材
4. 把 10 顆實驗器材排成一排，並測量長度，紀錄完畢之後把本次測量使用的實驗器材倒回包裝中，以確保實驗的準確度
5. 重複 3.和 4.步驟 10 次，並依序測量白米、糙米、西谷米、BB 彈、紅豆、黑豆、綠豆、黃豆、蓮子、串珠(2mm、3mm、4mm)、陶瓷石、白芝麻、黑芝麻、黑胡椒和白胡椒的直徑
6. 將全部資料記錄到電腦上並計算出每種顆粒體測量結果的平均值，再除以 10 便是每一種顆粒體的平均直徑。

實驗一之二: 顆粒體質量測量

(一) 實驗說明：

為了解不同顆粒體的質量所設計的實驗

(二) 實驗目的及步驟

實驗目的：

了解不同顆粒體的質量

實驗步驟:

1. 蒐集市面上各種不同的顆粒體，我們選擇白米、糙米、BB 彈、紅豆、黑豆、綠豆、黃豆、蓮子、串珠(2mm、3mm、4mm)、陶瓷石、白芝麻、黑芝麻來做為實驗器材
2. 拿出最大量程 3000g 最小量程 0.1g 的電子秤
3. 從包裝中取出 30 顆實驗器材(西谷米和黑、白芝麻因重量過輕，所以將 50 顆和 100 顆為一組)



圖 4.7 質量測量示意圖



圖 4.8 質量測量實驗示意圖

4. 把實驗器材放到電子秤上並記錄質量，記錄完畢將測量過的實驗器材放置到容器中，不再重複測量，以確保實驗準確度
5. 重複步驟 3、4 十次，並計算出平均值，接著測量白米、糙米、BB 彈、紅豆、黑豆、綠豆、黃豆、蓮子、串珠(2mm、3mm、4mm)、陶瓷石、白芝麻、黑芝麻的質量
8. 將全部資料記錄到電腦上，並將各種顆粒體的平均值各除以 30、50、100 便是各種顆粒體的平均重量



圖 4.9 質量測量示意圖

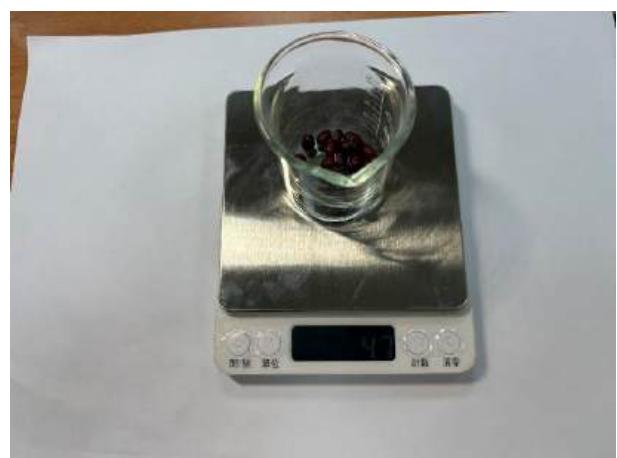


圖 4.10 質量測量示意圖

實驗一之三:彈跳度測試

(一) 實驗說明

為了解不同顆粒的彈跳度所設計的實驗

(二) 實驗目的及步驟

實驗目的:

了解不同顆粒的彈跳度

實驗步驟:



圖 4.11 彈跳度測量示意圖

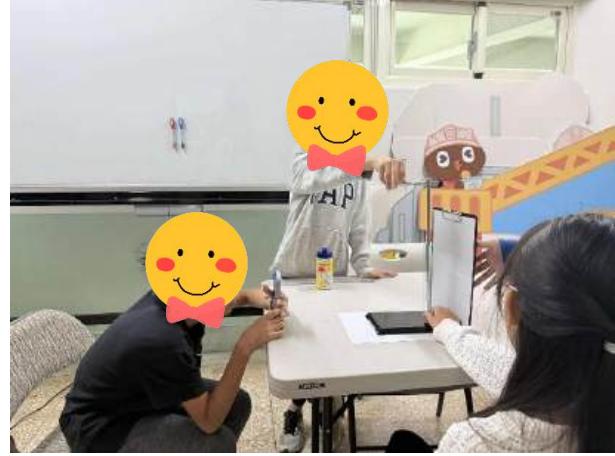


圖 4.12 彈跳度測量示意圖

1. 拿出各種顆粒、錄影工具、一把 30 公分的尺以及金屬支架。.
2. 在金屬支架旁放 30 公分的尺並固定，以方便觀察。
3. 將各種顆粒以 30 公分落下，用錄影工具慢動作錄下顆粒的彈跳狀況。
4. 抓顆粒第一次彈跳的最高點，並記錄在紙上，每種顆粒各測試十次，以確保數據的準確性。

實驗一之四:顆粒堆疊實驗

(一) 實驗說明:

為了瞭解每種顆粒的堆疊程度所設計的實驗

(二) 實驗目的及步驟

實驗目的:

瞭解每種顆粒的堆疊程度

實驗步驟:

1. 將 100ml 的燒杯裝滿待測量物
2. 將墊板蓋在小燒杯上
3. 將小燒杯和墊板一起翻轉過來(墊板在下，燒杯在上)
4. 小心的將墊板抽出來(不能使待測量物滾出來)

5. 緩慢地將燒杯抽起，使其堆成一堆
6. 用量角器測量角度並記錄
7. 每種顆粒重複以上 1~6 步驟



圖 4.13 堆疊程度測量示意圖



圖 4.14 堆疊程度測量示意圖

實驗一之五:漏斗流動實驗

(一) 實驗說明:

為了解不同顆粒物在漏斗中的流動情況。

(二) 實驗目的及步驟

實驗目的:

為了觀察不同顆粒是否能順利從沙漏通過

實驗步驟:



圖 4.15 堆疊程度測量示意圖



圖 4.16 堆疊程度測量示意圖

1. 拿出孔徑 1.5cm 和 1cm 的沙漏、1000ml 的量筒、50ml 的燒杯和待測量的顆粒。
2. 將沙漏放置量筒上。
3. 將燒杯裝滿顆粒。

4. 迅速倒進沙漏，確認無滾出。
5. 觀察顆粒是否通過沙漏，記錄在紀錄紙上。
6. 每種顆粒重複以上 3~5 步驟 3 次。

實驗二:不同流沙頸口對於顆粒流流動的影響

(一) 實驗說明:

為了解不同流沙頸口對於顆粒流流動的影響所以設計此實驗

(二) 實驗目的及步驟:

實驗目的:

不同流沙頸口大小(以下簡稱開口大小)對於不同內容物顆粒流的流動影響

實驗步驟:

1. 使用 PPT 設計不同開口大小的 3D 列印模型。

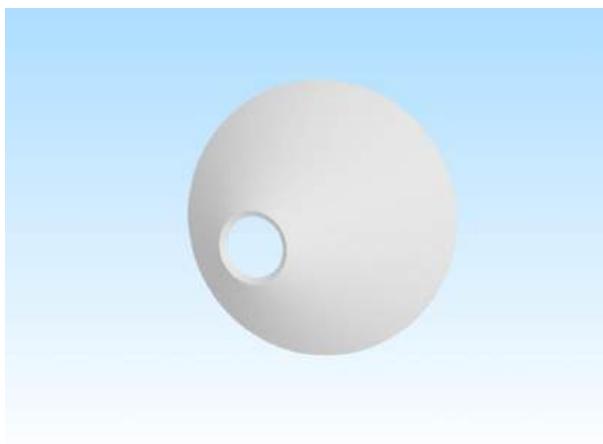


圖 4.17 3D 列印模型示意圖-2 公分開口

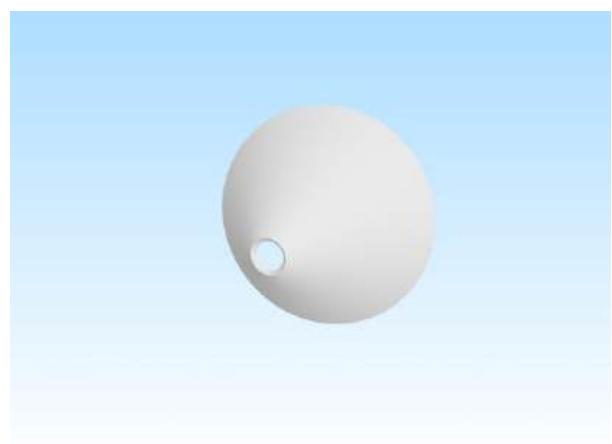


圖 4.18 3D 列印模型示意圖-1.5 公分開口

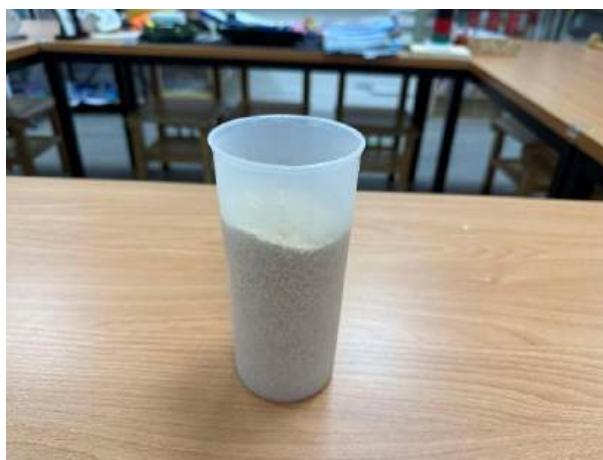


圖 4.19 不同流沙頸口實驗示意圖



圖 4.20 不同流沙頸口實驗示意圖

4. 在本實驗中以 45° 的流沙頸壁角度做為控制變因，設計出開口變項為 1 公分、1.5 公分、2 公分的 3D 列印物件。

5. 接下來秤量每種種類的顆粒流內容物 250 公克，如圖 4.19。
6. 並裝於 700 毫升的塑膠杯內，並在上方置上我們所列印出來的不同開口大小的流沙井口列印件，如圖 4.20。
7. 並將 1000 毫升的量筒倒置於上述的裝置上方，如圖 4.21。
8. 將此裝置快速倒置並開始計時，如圖 4.22，並重複此步驟 10 次。
9. 並輸入置電腦中，刪去極端質，並算出平均開始進行分析。



圖 4.21 不同流沙頸口實驗示意圖



圖 4.22 不同流沙頸口實驗示意圖

實驗三:不同流沙頸壁角度對於顆粒流流動的影響

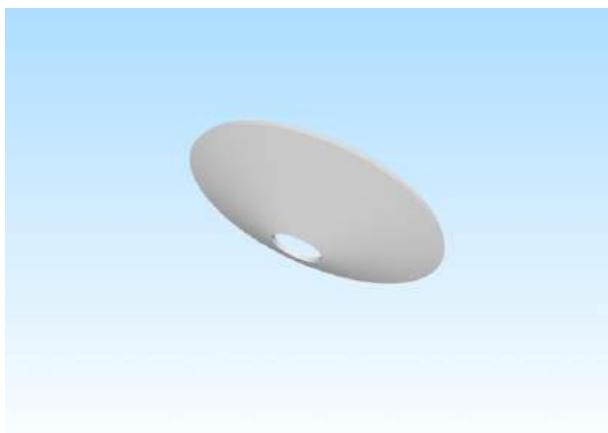


圖 4.23 3D 列印模型圖-15°傾斜 2 公分開口

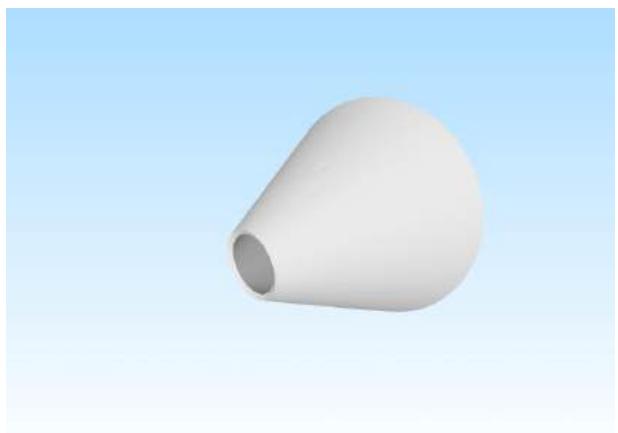


圖 4.24 3D 列印模型圖-60°傾斜 2 公分開口

(一) 實驗說明:

為了解不同流沙頸壁傾斜角度對於顆粒流流動的影響所以設計此實驗

(二) 實驗目的及步驟:

實驗目的:

不同流沙頸壁角度(在本實驗中以下稱為傾斜角度)對於顆粒流流動的影響，並與實驗二進行同步分析

實驗步驟:

1. 使用 PPT 設計不同開口大小的 3D 列印模型。
2. 在本實驗中以流沙頸開口大小變項為 1 公分、1.5 公分、2 公分做為控制變因，設計出流沙頸傾斜角度變項為 15° 、 30° 、 45° 、 60° 的 3D 列印物件。
3. 並重複實驗二的 3-7 步驟，以進行此實驗。

實驗四:不同混和顆粒流(混和兩種顆粒流) 對於顆粒流流動的影響

(一) 實驗說明:

為了解不同混和顆粒流流動的影響所以設計此實驗

(二) 實驗目的及步驟:

實驗目的:

不同混和顆粒流(在本實驗中選擇為白米+黑芝麻及紅豆+白芝麻)對於顆粒流流動的影響

實驗步驟:

1. 調製以白米+黑芝麻及紅豆+白芝麻的顆粒留待測物 250 克，並且依照比例為 1:2、1:1、2:1 的規格調製三包，如圖 4.25。
2. 選擇白米與黑芝麻及紅豆與白芝麻的原因，是因為實驗三中的表現、黑白芝麻皆為三種尺寸開口及傾斜角度皆可落下的顆粒流物質，而白米只有在 1.5 公分、2 公分開口的任一角度可以落下，至於紅豆更是只有在 2 公分開口、傾斜角度 60° 度才可落下，我們想要從中了解其混合後的影響狀況。
3. 重複利用實驗三的模型及實驗二的 3-7 步驟，以進行此實驗。



圖 4.25 不同混和顆粒實驗示意圖



圖 4.26 不同外來影響實驗示意圖

實驗五:不同外來影響(平移、旋轉) 對於顆粒流流動的影響

(二) 實驗說明:

為了解不同外來影響(平移、旋轉)對於顆粒流流動的影響所以設計此實驗

(二) 實驗目的及步驟:

實驗目的:

不同外來影響(平移、旋轉)對對於顆粒流流動的影響，並與實驗三進行同步分析

實驗步驟:

1. 準備調速往複式震盪機及調速迴旋式震盪機。
2. 準備實驗四所調製好的不同比例待測物。
3. 將實驗三所製作的 3D 列印模型與 500ml 塑膠杯利用防電膠帶黏牢，以下簡稱測量部件，如下圖 4.28。
4. 將上述所準備好的不同比例待測物搖晃均勻約 10 秒後，由模型口倒入，如圖 4.30
5. 將顆粒流收集杯放入調速往複式震盪機及調速迴旋式震盪機中並以上方彈簧固定，並將機器調製 120rpm(兩台儀器皆為實驗室專用，其擺盪幅度皆為 20mm)。
6. 待機器運行至目標速度後，從上方放入我們所製作的測量部件，並於開始放入後開始測量，須注意測量人員須將手輕放於測量部件上，以讓其能順利運行，如圖 4.31。



圖 4.30 不同外來影響實驗示意圖



圖 4.31 不同外來影響實驗示意圖

伍、研究結果及討論

以下研究結果部分，將以回答待答問題的方式來進行討論本研究的結果

二、以自製沙漏不同流沙頸口大小探討不同顆粒流變項對於計時準確性的影響為何？

為回答此待答問題，我們將於此部分展示實驗一及實驗二的成果，再將其進行分析，但礙於篇幅，完整記錄請翻查研究紀錄，此處只提供平均表已進行說明。

表 5.1 顆粒流內容物外觀特色觀察表-1

白米	糙米	BB 彈	紅豆	綠豆	黑豆	黃豆	蓮子	白胡椒	黑胡椒
顏色	白色	米黃	亮黃	暗紅	綠色	黑色	土黃	米白	咖啡

形狀	扁平 橢圓	扁平 橢圓	圓形 球狀	橢圓 球狀	橢圓 球狀	扁圓 圓形	偏橢 球體	接近 球體	接近 球體	接近 球體
特色	大小 不依	表面 平滑	表面 平滑	表面 平滑	中間 凸起	大小 不一	表面 平滑	中間 有洞	凹凸不 平	凹凸不 平

表 5.2 顆粒流內容物外觀特色觀察表-2

西谷米	白芝麻	黑芝麻	串珠(小)	串珠(中)	串珠(大)	陶瓷石
顏色	白色	淺黃色	棕、黑色	顏料顏色	顏料顏色	顏料顏色
形狀	圓形球狀	雨滴狀	雨滴狀	圓柱體	圓柱體	圓柱體
特色	表面平滑	顆粒小	顆粒小	中間有洞	中間有洞	中間有洞

在實驗一的表 5.1 及表 5.2 中，我們所挑選的顆粒流內容物大多是生活當中唾手可得的，我們另外還有考慮的點是是否容易因時間、濕度變化而產生改變，在我們經過專家詢問後，我們放棄了之前有人研究過的魚飼料，而依組員及家庭中有印象且尺寸不過大的顆粒物來進行研究。

表 5.3 顆粒流內容物尺寸觀察測量表-1

白米	糙米	BB 彈	紅豆	綠豆	黑豆	黃豆	蓮子	白胡椒	黑胡椒
平均	3.97	4.52	5.9	6.95	4.62	7.49	6.85	12.31	4.257

單位:mm

表 5.4 顆粒流內容物尺寸觀察測量表-1

西谷米	白芝麻	黑芝麻	串珠(小)	串珠(中)	串珠(大)	陶瓷石
平均	2.41	2.58	2.73	2.49	3.08	4.05

單位:mm

在記錄直徑尺寸測量的表 5.3 及表 5.4 方面，我們發現我們所選的顆粒流內容物中最大的為蓮子，其平均值竟有到 12.31mm，而最小的是西谷米為 2.41mm，這邊我們會根據之後實驗二的結果來判斷顆粒流內容物直徑是否會影響顆粒流的流動問題。

表 5.5 顆粒流內容物尺寸觀察測量表-1

白米	糙米	BB 彈	紅豆	綠豆	黑豆	黃豆	蓮子	白胡椒	黑胡椒
平均	0.019	0.022	0.114	0.149	0.058	0.246	0.175	0.970	0.044

單位:克

表 5.6 顆粒流內容物尺寸觀察測量表-2

西谷米	白芝麻	黑芝麻	串珠(小)	串珠(中)	串珠(大)	陶瓷石
平均	0.009	0.004	0.004	0.013	0.030	0.086

單位:克

在記錄質量測量的表 5.5 及表 5.6 方面，我們發現我們所選的顆粒流內容物中最重的為蓮

子，其一顆平均值竟有到 0.97g，而最小的是白芝麻與黑芝麻為 0.004g，這邊我們會根據之後實驗二的結果來判斷顆粒流內容物質量是否會影響顆粒流的流動問題。

表 5.7 顆粒流內容物彈性觀察測量表-1

白米	糙米	BB 彈	紅豆	綠豆	黑豆	黃豆	蓮子	白胡椒	黑胡椒
平均	8.8	3.48	23.55	8.7	8.2	10	8.05	6.85	7.25

單位:公分

表 5.8 顆粒流內容物彈性觀察測量表-2

西谷米	白芝麻	黑芝麻	串珠(小)	串珠(中)	串珠(大)	陶瓷石
平均	10.15	2.6	3.85	12.95	16.3	12.6

單位:公分

在彈力測量的表 5.7 及表 5.8 方面，我們發現我們所選的顆粒流內容物中彈性最佳的為 BB 彈，其平均值為 23.5 公分，而最差的是白芝麻為 2.6 公分，這邊我們會根據之後實驗二的結果來判斷顆粒流內容物彈性是否會影響顆粒流的流動問題。

表 5.9 顆粒流內容物堆疊程度觀察測量表-1

白米	糙米	BB 彈	紅豆	綠豆	黑豆	黃豆	蓮子	白胡椒	黑胡椒
平均	30.00	15.00	0.00	21.67	26.67	21.00	27.33	28.67	23.33

單位:度

表 5.10 顆粒流內容物堆疊程度觀察測量表-2

西谷米	白芝麻	黑芝麻	串珠(小)	串珠(中)	串珠(大)	陶瓷石	西谷米
平均	18.33	20.00	18.33	23.33	35.00	25.00	5.00

單位:度

在堆疊程度的表 5.9 及表 5.10 方面，我們在經過討論後認為內容物的堆疊程度所表現的是內容物本身的摩擦力及形狀的影響，也就是會影響內容物本身的支撐性，而我們在其中發現我們所選的顆粒流內容物中堆疊支撐性最佳的為白米，其平均堆疊斜面角度為 30°，而最差的是陶瓷石為 5°，這邊我們會根據之後實驗二的結果來判斷顆粒流內容物堆疊程度是否會影響顆粒流的流動問題。

在顆粒流試作實驗中我們從表 5.11、表 5.12、表 5.13 及表 5.14(以上請詳見實驗記錄)中發現，流沙頸的開口的確會影響到顆粒流的流動，特別在 1 公分開口大小的試作實驗中更為明顯，因為我們所挑選的顆粒流內容物除了蓮子外，其他都與開口大小相差極遠，但是卻會出現阻塞狀況，我們在經過討論後認為這次我們之後進行實驗需要特別注意的特點。

表 5.21 45°傾斜不同開口大小顆粒流流動狀態表-1

白米	糙米	BB 彈	紅豆	綠豆	黑豆	黃豆	蓮子	白胡	黑胡
----	----	------	----	----	----	----	----	----	----

	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	椒 45°	椒 45°
1 公分	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.5 公分	12.36	11.39	x	x	x	x	x	x	x	x
2 公分	5.1516	4.9	x	x	6.455	x	x	x	9.03	x

單位:秒，x 代表卡住未通過

表 5.22 45°傾斜不同開口大小顆粒流流動狀態表-1

	西谷米 45°	白芝麻 45°	黑芝麻 45°	串珠 (小)45°	串珠 (中)45°	串珠 (大)45°	陶瓷石 45°
1 公分	x	57.115	56.75	x	x	x	x
1.5 公分	12.49	15.79	16.31	8.383	9.296	x	x
2 公分	4.9	8.76	7.339	4.396	3.6	4.12	4.32

單位:秒，x 代表卡住未通過

觀察與討論:

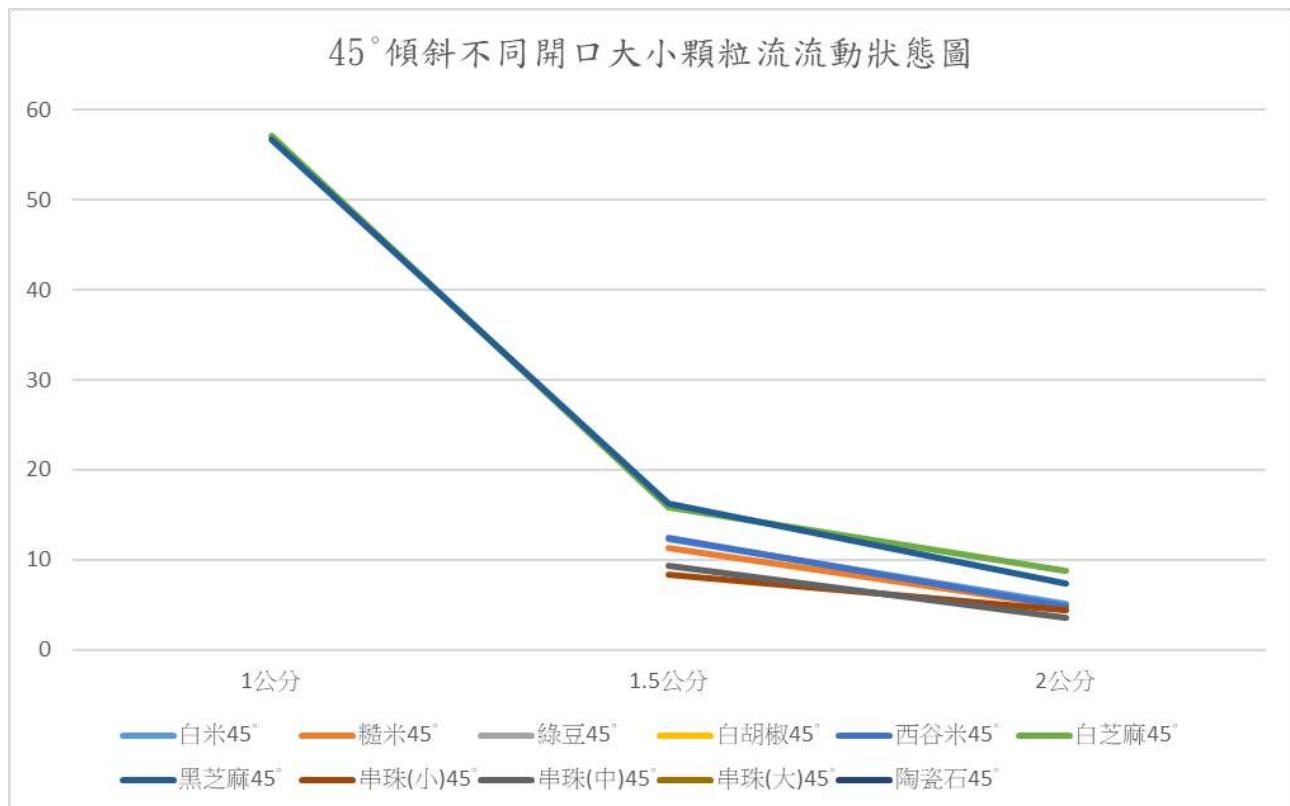


圖 5.1 45°傾斜不同開口大小顆粒流流動狀態圖

- 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中，並將 1 公分開口的數據整理成表 5.15 及表 5.16(詳細表格請見實驗記錄)；將 1.5 公分開口的數據整理成表 5.17 及表 5.18(詳細表格請見實驗記錄)，並將 2 公分開口的數據整理成表 5.19 及表 5.20(詳細表格請見實驗記錄)，而為了更方便比較，我們將其數據彙整成了表 5.21 及表 5.22(詳細表格請見實驗記錄)。

2. 而後我們將進一步利用表 5.21 及表 5.22 的數據，刪除掉完全卡住的顆粒流內容物品項計算出流動時間繪製成上方圖 5.1，以方便進行數據說明與分析。
3. 我們從圖 5.1 中可以看到在全部 17 種顆粒流內容物中，並不是每一種都能夠順利地流動，且如果以表 5.21 及表 5.22 與之前的長度表 5.3 及表 5.4、質量表 5.5 及表 5.6，彈性程度表 5.7 及 5.8、堆疊程度表 5.9 及表 5.10 中，我們發現彈性程度及堆疊程度並不同我們所設想的與顆粒流的流動有較大的關係。
4. 從圖 5.1 中我們可以發現顆粒流是否流動，在本實驗中與顆粒大小較有關係，且其次有相關的是顆粒流中內容物的質量，在本實驗中我們發現，只有當開口大小為顆粒流內容物質量的超過 4-5 倍大小時才能讓顆粒流確實流動，我們在此推測顆粒流的流動，並非顆粒流中的內容物小於開口即可，在其湧入開口時，須有一定倍數的開口大小，顆粒流才能流動起來。
5. 從表 5.21、表 5.22 及圖 5.1 中，我們發現並非直徑越小則越容易流動，顆粒流的流動也跟形狀有關，如西谷米及串珠(小)為所有顆粒中直徑最小者，但其在開口 1 公分時卻無法流動，但比其大的黑芝麻及白芝麻卻可以流動，這代表顆粒流除了與質量與長度有關外，形狀也是需要注意的點。

二、以自製沙漏不同流沙頸壁傾斜角度探討不同顆粒流變項對於計時準確性的影響為何？

以下將藉由實驗三不同流沙頸壁傾斜角度的實驗成果來進行討論，在本實驗中操控變因為流沙頸壁傾斜角度 15° 、 30° 、 45° 、 60° ，而由於 45° 的討論在待答問題一中已有討論，這邊只有在最後討論時才會納入之前的數據結果。

表 5.29 15° 傾斜不同開口大小顆粒流流動狀態表-1

	白米	糙米	BB 彈	紅豆	綠豆	黑豆	黃豆	蓮子	白胡	黑胡
	15°									
1 公分	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.5 公分	11.57	12.7	x	x	x	x	x	x	x	x
2 公分	x	x	x	x	9.84	x	x	x	10.995	x

單位:秒，x 代表卡住未通過

表 5.30 15° 傾斜不同開口大小顆粒流流動狀態表-2

	西谷米 15°	白芝麻 15°	黑芝麻 15°	串珠 (小) 15°	串珠 (中) 15°	串珠 (大) 15°	陶瓷石 15°
1 公分	x	56.827	59.179	x	x	x	x
1.5 公分	17.14	17.04	15.93	7.91	8.897	x	14.19
2 公分	8.437	x	8.84	4.57	4.739	6.6197	6.57

單位:秒，x 代表卡住未通過

15°傾斜不同開口大小觀察與討論

- 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中，並將1公分開口的數據整理成表5.23及表5.24(詳細表格請見實驗記錄)；將1.5公分開口的數據整理成表5.25及表5.26(詳細表格請見實驗記錄)，並將2公分開口的數據整理成表5.27及表5.28(詳細表格請見實驗記錄)，而為了更方便比較及了解所以我們將其數據彙整成了上方表5.29及表5.30。
- 在本實驗進行時我們發現了一個特別的現象，就像是圖5.2及圖5.3中的現象一樣，有許多種顆粒流中的內容物無法順暢的流動完，而是有非常多的殘餘，其殘餘的量根據不同顆粒流而有所差別。
- 我們發現並不是每種顆粒流都會有所殘餘，像是綠豆、西谷米、白胡椒及陶瓷石就沒有這樣的狀況，而我們從旁分析表5.29及表5.30與之前的長度表5.3及表5.4、質量表5.5及表5.6，彈性程度表5.7及5.8、堆疊程度表5.9及表5.10中，我們推論其殘餘與否與其重量與形狀有較大的關係。



圖 5.2 15°傾斜實驗結果示意圖



圖 5.3 15°傾斜實驗結果示意圖

表 5.37 30°傾斜不同開口大小顆粒流流動狀態表-1

	白米 15°	糙米 15°	BB彈 15°	紅豆 15°	綠豆 15°	黑豆 15°	黃豆 15°	蓮子 15°	白胡 椒 15°	黑胡 椒 15°
1公分	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.5公分	11.57	12.7	x	x	x	x	x	x	x	x
2公分	x	x	x	x	9.84	x	x	x	10.995	x

單位:秒，x 代表卡住未通過

表 5.38 30°傾斜不同開口大小顆粒流流動狀態表-2

	西谷米 15°	白芝麻 15°	黑芝麻 15°	串珠 (小)15°	串珠 (中)15°	串珠 (大)15°	陶瓷石 15°
1公分	x	56.827	59.179	x	x	x	x

1.5 公分	17.14	17.04	15.93	7.91	8.897	x	14.19
2 公分	8.437	x	8.84	4.57	4.739	6.6197	6.57

單位:秒，x 代表卡住未通過

30°傾斜不同開口大小觀察與討論

- 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中，並將 1 公分開口的數據整理成表 5.31 及表 5.32(詳細表格請見實驗記錄)；將 1.5 公分開口的數據整理成表 5.33 及表 5.34(詳細表格請見實驗記錄)，並將 2 公分開口的數據整理成表 5.35 及表 5.36(詳細表格請見實驗記錄)，而為了更方便比較及了解所以我們將其數據彙整成了表 5.37 及表 5.38。
- 在本實驗進行時我們也發現了跟 15°傾斜一樣的現象，就像是圖 5.4 及圖 5.5 中的現象一樣，有許多種顆粒流中的內容物無法順暢的流動完，但在 30°中的殘餘量與 15°傾斜的量不同，殘餘較少，其殘餘的量根據 15°傾斜一樣而有所差別。

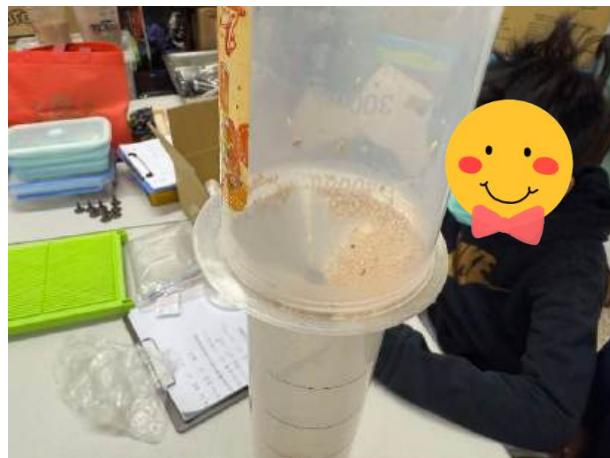


圖 5.4 30°傾斜實驗結果示意圖



圖 5.5 30°傾斜實驗結果示意圖

- 從 15°傾斜及 30°傾斜中我們可以推論，流沙頸壁的傾斜角度會大大的影響顆粒流的流動外，也會在流動後期影響是否能夠完整流完的關鍵，且在本實驗中也可以看到與 15°傾斜一樣，顆粒流內容物會隨著重量與形狀有較大的關係。

表 5.45 60°傾斜不同開口大小顆粒流流動狀態表-1

	白米	糙米	BB 彈	紅豆	綠豆	黑豆	黃豆	蓮子	白胡	黑胡
	60°	60°	60°	60°	60°	60°	60°	60°	60°	60°
1 公分	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.5 公分	9.57	8.97	x	x	x	x	x	x	x	x
2 公分	4.1928	4	x	5.93	5.2282	x	x	x	7.37	x

單位:秒，x 代表卡住未通過

表 5.46 60°傾斜不同開口大小顆粒流流動狀態表-2

	西谷米 60°	白芝麻 60°	黑芝麻 60°	串珠 (小)60°	串珠 (中)60°	串珠 (大)60°	陶瓷石 60°
1 公分	x	48.0558	47.96	x	x	x	x
1.5 公分	10.09	13.85	15.09	6.7341	7.438	x	8.878
2 公分	4.255	6.313	6.47	3.48	3.048	3.331	3.58

單位:秒，x 代表卡住未通過

60°傾斜不同開口大小觀察與討論

- 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中，並將 1 公分開口的數據整理成表 5.39 及表 5.40(詳細表格請見實驗記錄)；將 1.5 公分開口的數據整理成表 5.41 及表 5.42(詳細表格請見實驗記錄)，並將 2 公分開口的數據整理成表 5.43 及表 5.44(詳細表格請見實驗記錄)，而為了更方便比較及了解所以我們將其數據彙整成了表 5.45 及表 5.46。

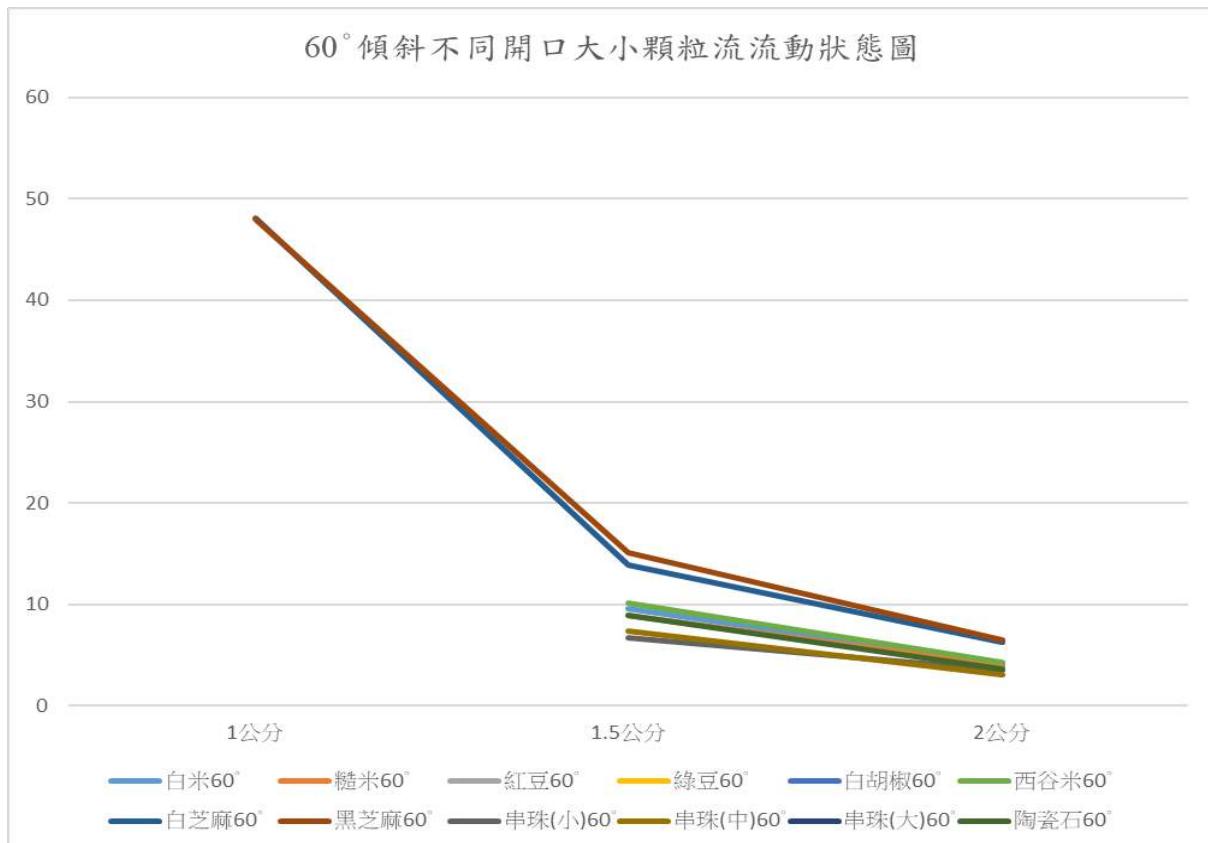


圖 5.6 60°傾斜不同開口大小顆粒流流動狀態圖

- 而後我們將進一步利用表 5.45 及表 5.46 的數據，刪除掉完全卡住的顆粒流內容物品項計算出流動時間繪製成上方圖 5.6，以方便進行數據說明與分析。
- 我們從圖 5.6 中可以看到跟之前在 45°傾斜實驗一樣，在全部 17 種顆粒流內容物中，並不是每一種都能夠順利地流動，且如果以表 5.45 及表 5.46 與之前的長度表 5.3 及表 5.4、

質量表 5.5 及表 5.6，彈性程度表 5.7 及 5.8、堆疊程度表 5.9 及表 5.10 中，我們一樣發現彈性程度及堆疊程度並不同我們所設想的與顆粒流的流動有較大的關係。

4. 從圖 5.6 中我們發現在 60° 傾斜實驗時，除了時間變化之外，我們更發現隨著度數的增加，顆粒流中的內容物能夠正常流動的直徑越來越大，與 45° 時需要 4-5 倍以上直徑的開口大小不同，其極限數字可能減至 3-4 倍以上。

三、以不同混和顆粒流比例變項對於自製沙漏計時準確性的影響為何？

以下將藉由實驗四不同混和顆粒流的實驗成果來進行討論，在本實驗中操控變因為紅豆+白芝麻(比例 1:2、1:1、2:1)及白米+黑芝麻(比例 1:2、1:1、2:1)。

表 5.50 不同比例(紅豆+白芝麻)對於開口 1.5cm 及不同傾斜角度平均時間比較表

	1:2 60°	1:2 45°	1:2 30°	1:2 15°	白芝麻 60°	白芝麻 45°	白芝麻 30°	白芝麻 15°
平均 時間	12.06	14.52	15.73	14.71	13.85	15.79	16.07	17.04
單位:秒								

表 5.51 不同比例(紅豆+白芝麻)對於不同開口(2cm)及不同傾斜角度平均時間比較表

	1:1 60°	1:1 45°	1:1 30°	1:1 15°	1:2 60°	1:2 45°	1:2 30°	1:2 15°	2:1 60°	2:1 45°	2:1 30°	2:1 15°
平均 時間	5.30	5.98	7.83	6.75	5.60	6.47	8.69	7.73	4.68	5.89	7.28	6.58
單位:秒												

紅豆+白芝麻不同比例觀察與討論

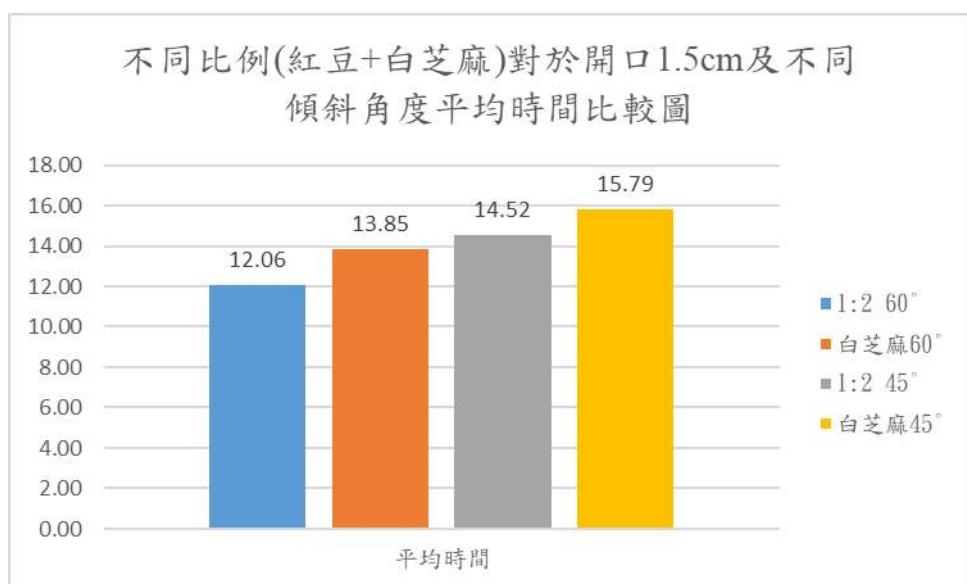


圖 5.7 不同比例(紅豆+白芝麻)對於開口 1.5cm 及不同傾斜角度平均時間比較圖

1. 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中，並將 1 公分開口的數據整理成表 5.47(詳細表格請見實驗記錄)；將 1.5 公分開口的數據整理成表 5.48(詳細表格請見實驗記錄)，並將 2 公分開口的數據整理成表 5.49(詳細表格請見實驗記錄)，而為了更方便比較及了解所以我們將其數據彙整成了表 5.50 及表 5.51。
2. 而後我們將進一步利用表 5.50 及表 5.51 的數據，加入之前原始未混和的顆粒流數據計算出流動時間繪製成圖 5.7 及圖 5.8，以方便進行數據說明與分析。
3. 從圖 5.7 我們可以發現漏斗傾斜角度 60° 的流速不論顆粒物的種類都比 45° 較快且從圖中我們可以發現白芝麻加入紅豆之後流速增加，並且漏斗上殘餘的剩餘顆粒物明顯減少，我們推測是由顆粒較大的紅豆帶動白芝麻所造成，另外我們可以發現紅豆加入白芝麻之後，比起只有紅豆更能順利的通過漏斗，但是在本實驗中極為有趣的是只有紅豆+白芝麻比例 1:2 的可以順利通過開口 1.5 公分，而這是在純紅豆實驗中不可能出現的情形，所以我們在此推論混和顆粒流的性質會在一定程度上影響原本的顆粒流性質，但是會有其影響的極限值。

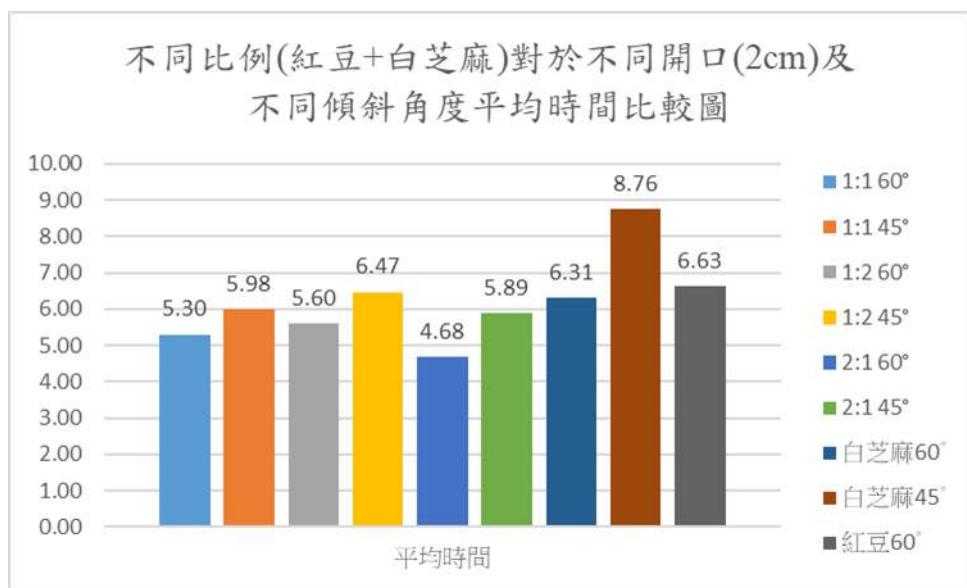


圖 5.8 不同比例(紅豆+白芝麻)對於開口 2cm 及不同傾斜角度平均時間比較圖

4. 從圖 5.8 中我們可以發現白芝麻和紅豆混和後，不論角度的大小，都會比未混合的紅豆及白芝麻的流速還快，推測是兩種顆粒物互相帶動所造成，另外從圖中我們可以發現，紅豆的比例越高，流速就越快，推測是由紅豆帶動白芝麻所造成。
5. 從圖 5.8 中我們可以發現紅豆加入白芝麻後可以通過開口 2cm 傾斜角度 45° 的漏斗，推測是由白芝麻帶動紅豆所造成。另外我們可以發現每次搖晃均勻後做混和實驗時堵塞都是由紅豆所造成的。
6. 從本實驗中我們可以推論，顆粒流物質在混和後會互相影響，且會根據加入的比例而影

響其顆粒流流動的狀況，於本實驗中發現一定比例的混和會影響流動速度及能通過的開口極限大小，且與我們想像中不同，我們原本設想顆粒流在混和後不同顆粒流的流動應該會一致，但是我們發現每次實驗堵塞的情形一樣發生在紅豆卡住的情形，我們認為混和顆粒流的流動應該有不同的情形

表 5.55 不同比例(白米+黑芝麻)對於開口 1.5cm 及不同傾斜角度平均時間比較表

1:1 60°	1:1 45°	1:1 30°	1:1 15°	1:2 60°	1:2 45°	1:2 30°	1:2 15°	2:1 60°	2:1 45°	2:1 30°	2:1 15°	
平均 時間	12.16	14.21	14.30	14.12	11.34	13.77	13.95	12.82	11.21	13.72	14.18	12.80

單位:秒

表 5.56 不同比例(白米+黑芝麻)對於開口 2cm 及不同傾斜角度平均時間比較表

1:1 60°	1:1 45°	1:1 30°	1:1 15°	1:2 60°	1:2 45°	1:2 30°	1:2 15°	2:1 60°	2:1 45°	2:1 30°	2:1 15°	
平均 時間	5.62	6.09	9.20	6.78	4.94	5.80	8.45	6.40	4.77	5.90	8.55	7.33

單位:秒

白米+黑芝麻不同比例觀察與討論

- 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中，並將 1 公分開口的數據整理成表 5.52(詳細表格請見實驗記錄)；將 1.5 公分開口的數據整理成表 5.53(詳細表格請見實驗記錄)，並將 2 公分開口的數據整理成表 5.54(詳細表格請見實驗記錄)，而為了更方便比較及了解所以我們將其數據彙整成了表 5.55 及表 5.56。

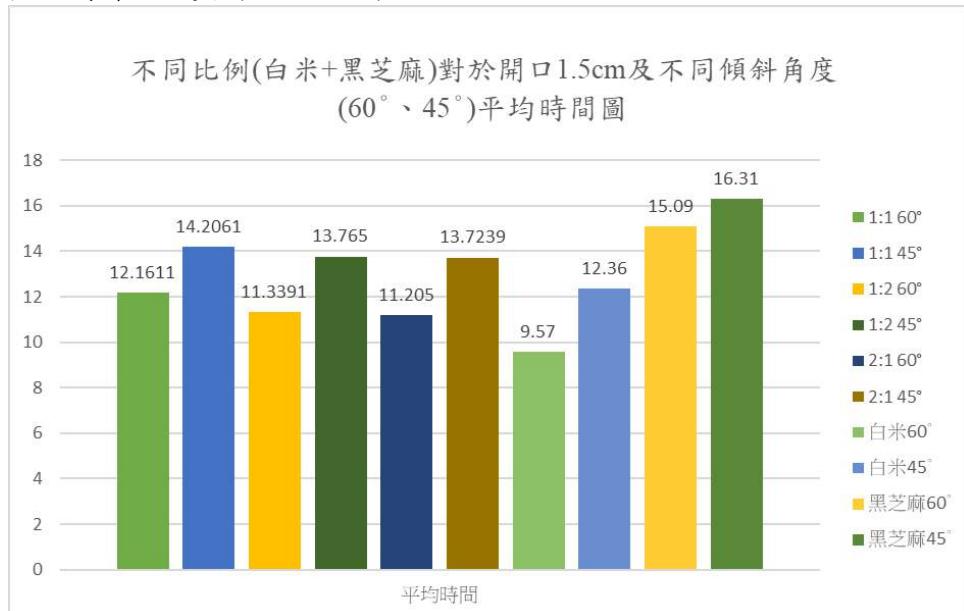


圖 5.9 不同比例(白米+黑芝麻)對於開口 1.5cm 及不同傾斜角度(60°、45°)平均時間圖

2. 而後我們將進一步利用表 5.55 及表 5.56 的數據，加入之前原始未混和的顆粒流數據計算出流動時間繪製成圖 5.9 及圖 5.10，以方便進行數據說明與分析。
3. 我們從圖 5.9 發現白米+黑芝麻在比例 1:2 比較接近白米的數值而不是含量較多的黑芝麻的時間，由此實驗結果可推論兩者之間顆粒流的混和狀態會影響實驗結果，在圖中我們可以清楚的看到當單一顆粒流有混入其他顆粒流物質時，其顆粒流性質會改變，但並不是依照我們添加入的多寡而產生改變，我們推論添加的物質會改變顆粒流應該有其一定的極限值
4. 綜合前面紅豆+白芝麻的實驗，我們有發現我們所組成的混和顆粒流其性質會偏向於混和顆粒流中直徑較大或者是質量較大的顆粒性質靠攏，特別是在流速性質上更是如此，從本實驗及上述實驗中皆可以看到混和顆粒流中直徑或質量較大的物質會較大的影響，且結合角度分析，會發現在傾斜角度越大又或者是流速越快的地方更為明顯。

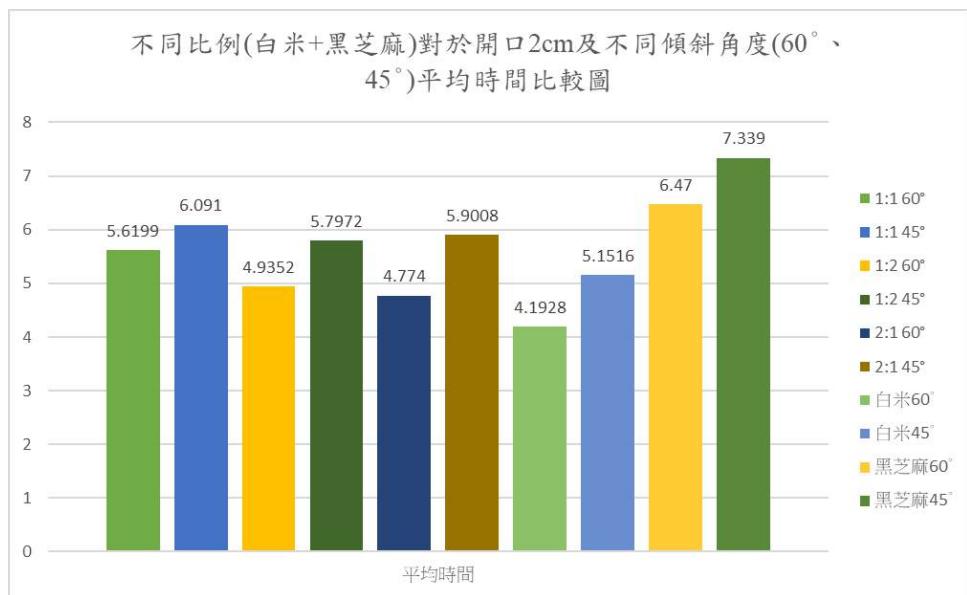


圖 5.10 不同比例(白米+黑芝麻)對於開口 2cm 及不同傾斜角度(60° 、 45°)平均時間比較圖

5. 我們從圖 5.10 中也發現了上述所發現的狀況，但是在開口較小的圖 5.9 中要更為明顯，而在經過我們討論之後推論，由於開口 2 公分對於此實驗的兩種顆粒流都是不會有流動阻塞壓力的，所以較 1.5 公分開口來的不明顯，但是從這邊也可以看出只要混和後，混和顆粒流會更容易受到內部質量或直徑較大的物質影響，有點像是我們學過的濃度觀念，但是又有些許差別。

四、以不同外力影響變項對於自製沙漏計時準確性的影響為何？

以下將藉由實驗五不同外力影響變項的實驗成果來進行討論，在本實驗中操控變因為紅豆+白芝麻(比例 1:2、1:1、2:1)及白米+黑芝麻(比例 1:2、1:1、2:1)以及往復式移動(以下簡稱平移外力)和旋轉式移動(以下簡稱旋轉外力)。

不同比例顆粒流與不同外力觀察與討論

表 5.61 不同比例(紅豆+白芝麻)與 2cm 開口與 45°傾斜角度對於旋轉外力平均時間比較表

紅豆+白芝麻	旋轉 1:2	1:2 比例	旋轉 1:1	1:1 比例	旋轉 2:1	2:1 比例
平均時間	6.44	6.47	6.16	5.98	5.88	5.89

單位:秒

表 5.62 不同比例(紅豆+白芝麻)與 2cm 開口與 45°傾斜角度對於平移外力平均時間比較表

紅豆+白芝麻	平移 1:2	1:2 比例	平移 1:1	1:1 比例	平移 2:1	2:1 比例
平均時間	6.40	6.47	6.00	5.98	5.92	5.89

單位:秒

表 5.63 不同比例(白米+黑芝麻)與 2cm 開口與 45°傾斜角度對於旋轉外力平均時間比較表

白米+黑芝麻	旋轉 1:2	1:2 45°	旋轉 1:1	1:1 45°	旋轉 2:1	2:1 45°
平均時間	5.96	5.80	6.30	6.09	6.54	5.90

單位:秒

表 5.64 不同比例(白米+黑芝麻)與 2cm 開口與 45°傾斜角度對於平移外力平均時間比較表

白米+黑芝麻	平移 1:2	1:2 45°	平移 1:1	1:1 45°	平移 2:1	2:1 45°
平均時間	6.62	5.80	6.42	6.09	6.09	5.90

單位:秒

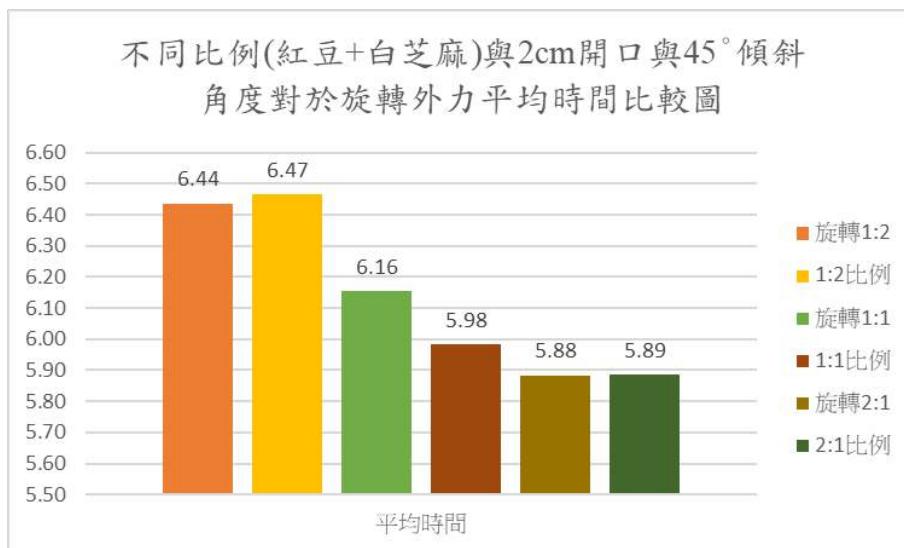


圖 5.11 不同比例(紅豆+白芝麻)與 2cm 開口與 45° 傾斜角度對於旋轉外力平均時間比較圖

- 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中，並將紅豆+白芝麻 2 公分開口受旋轉外力影響的數據整理成表 5.57(詳細表格請見實驗記錄)；將紅豆+白芝麻 2 公分開口受平移外力的數據整理成表 5.58(詳細表格請見實驗記錄)；將白米+黑芝麻 2 公分開口受旋轉外力的數據整理成表 5.59(詳細表格請見實驗記錄)，並將白米+黑芝麻 2 公分開口受平移外力的數據

整理成表 5.60(詳細表格請見實驗記錄)，而為了更方便比較及了解所以我們將其數據彙整成了表 5.61、表 5.62、表 5.63 及表 5.64。

- 而後我們將進一步利用表 5.61、表 5.62、表 5.63 及表 5.64 的數據，加入之前原始未受力的顆粒流數據計算出流動時間繪製成圖 5.11、圖 5.12、圖 5.13 及圖 5.14，以方便進行數據說明與分析。

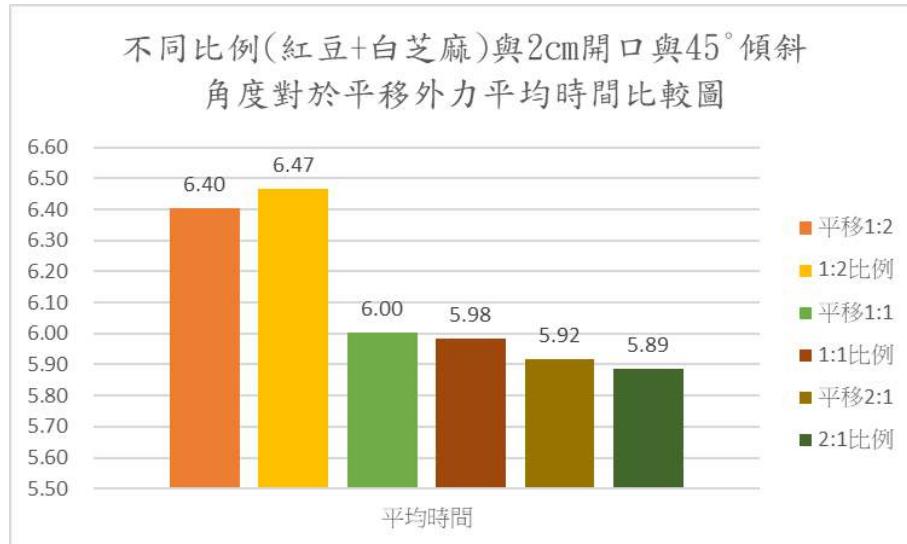


圖 5.12 不同比例(紅豆+白芝麻)與 2cm 開口與 45° 傾斜角度對於平移外力平均時間比較圖

- 從圖 5.11、圖 5.12 中我們可以清楚的看到紅豆+白芝麻 1:2、紅豆+白芝麻 1:1 與紅豆+白芝麻 2:1 的平均時間對於在有無旋轉外力及平移外力時，數值並無太大差異。所以我們可以從此實驗結果推論外力干擾時，對於不同比例顆粒流中的紅豆+白芝麻組合較無影響。

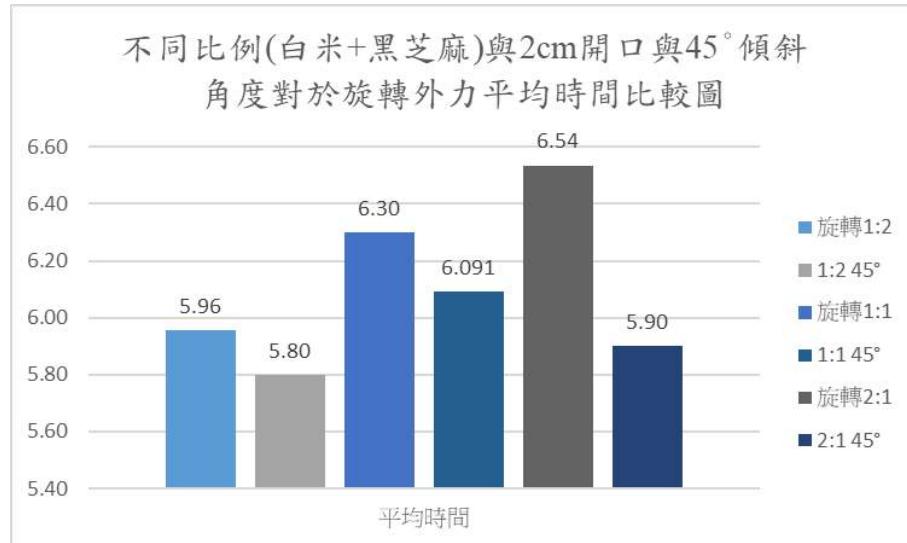


圖 5.13 不同比例(白米+黑芝麻)與 2cm 開口與 45° 傾斜角度對於旋轉外力平均時間比較圖

- 我們從圖 5.13 發現，白米+黑芝麻 1:2 與白米+黑芝麻 1:1 的平均時間對於在有無旋轉外力時，數值相差較小，不過也比紅豆+白芝麻組合數值相差大，而白米+黑芝麻 2:1 的平均時間在對於有無旋轉外力時，數值相差較大。所以我們可以從此實驗結果推論旋轉外力干擾

時，對於不同比例顆粒流有較多影響，我們推論當白米+黑芝麻中的白米越多，在有無旋轉外力時，平均時間相差越大。所以我們可以從此實驗結果推論不同比例對於平均時間的影響較大，而其中影響的可能是混和顆粒物的直徑或是質量。

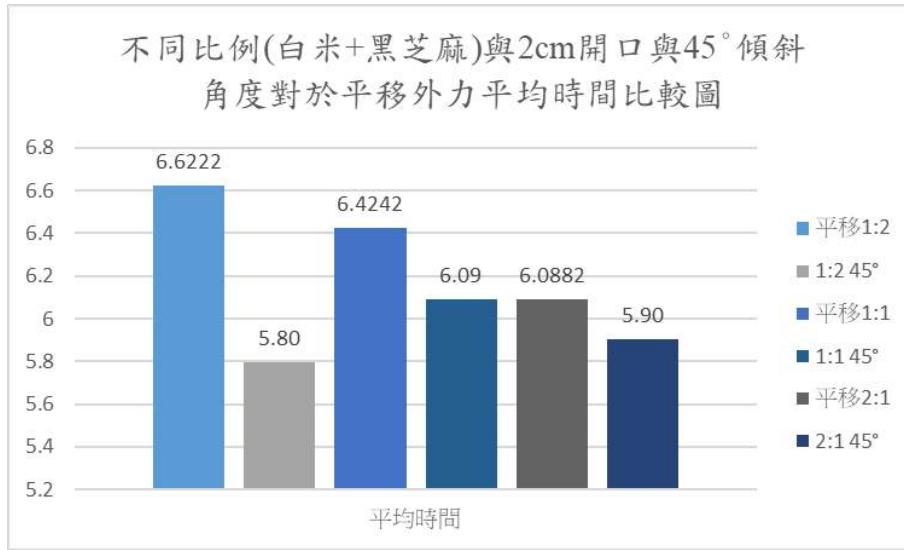


圖 5.14 不同比例(白米+黑芝麻)與 2cm 開口與 45°傾斜角度對於平移外力平均時間比較圖

- 從圖 5.14 中我們可以發現白米+黑芝麻 2:1、白米+黑芝麻 1:1 的平均時間對於在有無平移外力時，數值相差較小，而白米+黑芝麻 1:2 的平均時間在對於有無平移外力時，數值相差較大。所以我們可以從此實驗結果推論平移外力干擾時，對於不同比例顆粒流有較多影響。我們發現當白米+黑芝麻中的白米越少，在有無平移外力時，平均時間相差越大。所以我們可以從此實驗結果推論不同比例對於平均時間的影響較大。
- 從上述中我們可以發現不同混和顆粒物的確會受到外力影響，在本實驗中白米+黑芝麻的混和顆粒流隨著比例不同，會受到旋轉外力或平移外力的影響較多，但是在紅豆+白芝麻組合中我們卻發現不管比例如何調整，都不太會受到旋轉外力或平移外力的影響，所以我們可以就此推論每種混和顆粒流的比例及成分都會極大影響其流動性值。

紅豆顆粒流對於不同外力觀察與討論

- 我們進行實驗並記錄後，輸入到電腦中，並將紅豆 2 公分開口受旋轉外力影響的數據整理成表 5.65(詳細表格請見實驗記錄)；將紅豆 2 公分開口受平移外力的數據整理成表 5.66(詳細表格請見實驗記錄)，而為了更方便比較及了解所以我們將其數據彙整成了表 5.67。
- 而後我們將進一步利用表 5.67(詳細表格請見實驗記錄)，加入之前原始未受力的顆粒流數據計算出流動時間繪製成圖 5.15，以方便進行數據說明與分析。
- 我們從圖 5.15 發現，紅豆 60° 在有無平移外力時數值相差較大，所以我們可以從此實驗結果推論平移外力干擾時，對紅豆的平均時間有較大影響，且結合表 5.55 及表 5.56 會發現紅豆顆粒流在旋轉外力作用下甚至連原本可以穩定通過的 2cm 開口傾斜角度 60°都無法通

過，另外我們從圖中發現，紅豆在有平移外力干擾時，2cm 開口傾斜角度 60° 紅豆顆粒流也開始會有無法通過的狀況出現。

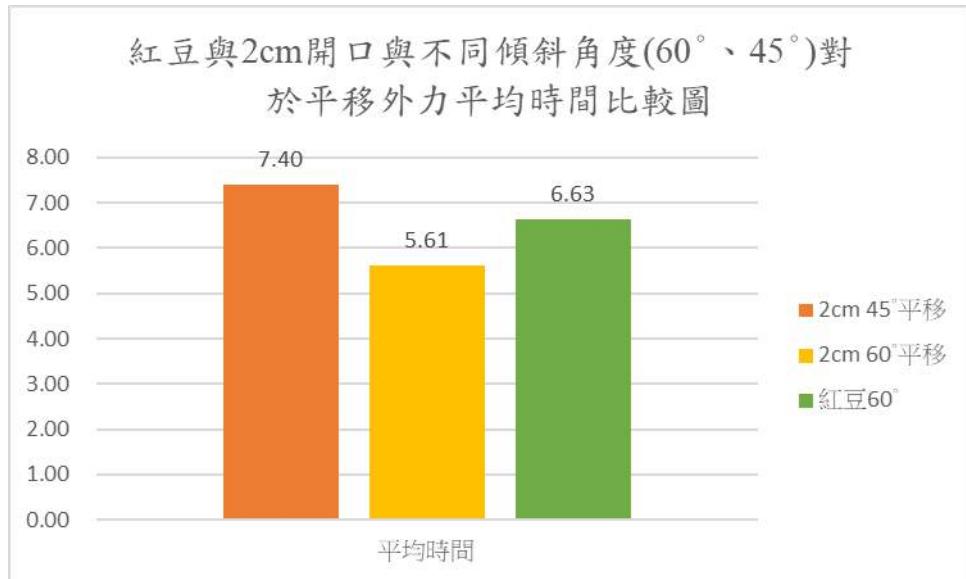


圖 5.15 紅豆與 2cm 開口與不同傾斜角度(60° 、 45°)對於平移外力平均時間比較圖

4. 由上述實驗並結合之前的部分結論我們可以推論不同的顆粒流可能因為其形狀、摩擦力等因素會受到不同種類外力影響，而本研究目前最適宜拿來進行製作沙漏的混和顆粒流為紅豆+白芝麻比例 1:2 的混和顆粒流搭配傾斜角度 45° 開口 1.5 公分的開口大小沙漏部件。

陸、結論

- 一、全部 17 種顆粒流內容物中，並不是每一種都能夠順利地流動，且根據實驗，我們發現彈性程度及堆疊程度並不同我們所設想的與顆粒流的流動有較大的關係。
- 二、我們可以發現顆粒流是否流動，在本實驗中與顆粒大小較有關係，且其次有相關的是顆粒流中內容物的質量。
- 三、在本實驗中我們發現，只有當開口大小為顆粒流內容物質量的超過 4-5 倍大小時才能讓顆粒流確實流動，但如果傾斜角度增加時，其極限倍數會降低，我們在此推測顆粒流的流動，並非顆粒流中的內容物小於開口即可，在其湧入開口時，須有一定倍數的開口大小，顆粒流才能流動起來。
- 四、我們發現並非直徑越小則越容易流動，顆粒流的流動也跟形狀有關，這代表顆粒流除了與質量與長度有關外，形狀也是需要注意的點。
- 五、在傾斜角度較小的實驗中有許多種顆粒流中的內容物無法順暢的流動完，但在 30° 中的殘餘量與 15° 傾斜的量不同，殘餘較少，其殘餘的量根據 15° 傾斜一樣而有所差別。從 15° 傾斜及 30° 傾斜中我們可以推論，流沙頸壁的傾斜角度會大大的影響顆粒流的流動外，也會在流動後期影響是否能夠完整的流完的關鍵，且在本實驗中也可以看到與 15°

傾斜一樣，顆粒流內容物會隨著重量與形狀有較大的關係。

- 六、從此實驗中我們可以推論混和顆粒流的性質會在一定程度上影響原本的顆粒流性質，但是會有其影響的極限值。另外顆粒流物質在混和後會互相影響，且會根據加入的比例而影響其顆粒流流動的狀況，於本實驗中發現一定比例的混和會影響流動速度及能通過的開口極限大小，且與我們想像中不同，我們原本設想顆粒流在混和後不同顆粒流的流動應該會一致，但是我們發現混和顆粒流的流動應該有不同的情形。
- 七、我們發現混和顆粒流其性質會偏向於混和顆粒流中直徑較大或者是質量較大的顆粒性質靠攏，特別是在流速性質上更是如此，從本實驗中皆可以看到混和顆粒流中直徑或質量較大的物質會有較大的影響，且結合傾斜角度分析，會發現在傾斜角度越大又或者是流速越快的地方更為明顯。
- 八、我們可以推論不同的顆粒流可能因為其形狀、摩擦力等因素會受到不同種類外力影響，而本研究目前最適宜拿來進行製作沙漏的混和顆粒流為紅豆+白芝麻比例 1:2 的混和顆粒流搭配傾斜角度 45° 開口 1.5 公分的開口大小沙漏部件。

柒、未來研究

本實驗因測量及分析較為繁瑣，在科展期限截止為止，經過小組討論，發現還有許多不足之處，將在下方紀錄並提醒我們小組

細項問題如下所呈現

- 一、不同外來影響對於顆粒流流動的影響，需加入壓力、震動或是更多不同的平移外力或是旋轉外力大小選擇
- 二、更多不同混和顆粒流(混和兩種顆粒流) 對於顆粒流流動的影響
- 三、錄影動態分析

捌、參考文獻

沙漏的秘密。科展群傑廳。全國科展第 44 屆

天地一沙間。科展群傑廳。全國科展第 47 屆

從固體對流探討顆粒體的混合與分離。科展群傑廳。全國科展第 51 屆

顆粒體大逃亡。科展群傑廳。全國科展第 57 屆

沙瀑我愛羅的流沙忍術。科展群傑廳。全國科展第 59 屆

二維顆粒流體崩塌倒序現象之探討。科展群傑廳。2012 年臺灣國際科學展覽會優勝作品