

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

佳作

080111

「沙」氣騰騰 - 流體化床變因與自製沙箱之研究

學校名稱：國立臺中教育大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小六 賴巧芸	黃尚偉
小六 李侑宸	簡辛如
小五 王宥捷	
小五 洪浚翔	
小五 林育丞	

關鍵詞：流體化、固液態轉換、氣泡石

摘要

我們看到網路影片，一位工程師製作了流體化床浴缸，人埋在沙中玩沙像玩水一樣！影片中**透過空氣就能產生固液態轉換**的模式引起我們的興趣，讓我們想**自己製作流體化床沙箱**。首先我們以**電動鼓風機替代影片中的高壓氮氣瓶**，並找到連接電動鼓風機和 PVC 水管的方法，製作出**水管流體化床沙箱**，並**研究影響沙箱噴沙的各種變因**與水管鑽孔的最佳方式。

我們察覺「**表面產生越多沙泡**」，**流體化效果越好**！也研發出流體化效果更佳的製作方法「**氣泡石流體化床**」，也就是利用**透氣陶瓷氣泡石當作隔層**，**下方保留氣室**，讓空氣切割更細、噴氣更均勻。同時歸納出流體化床四種特色：**流體化、減少摩擦力、改變沙體密度、固液體轉換**，根據特色想出許多應用於生活中的點子。

壹、研究動機

有一天，老師在課堂播放了一個很酷影片（請見參考資料 2）。影片中有一個裝滿沙的箱子，把氣灌進沙子後，就能**讓沙子從固態呈現液態的效果**。手在沙中能自由撥動、保齡球會下沉、乒乓球還會浮起！但，氣體一關掉後，沙子又恢復原來的固態。

三年級自然課「水的變化」提過水的三態變化，透過溫度改變能進行固液態的轉變。但影片中提到的「**流體化床**」，竟然能透過氣體使固態沙變成液態。我們對這種能固液態轉換的裝置十分好奇，想進一步瞭解**流體化床製作成沙箱**的效果，研究變因並嘗試應用在生活中。



圖 1：Mark Rober 自製流體化床浴缸，人可以陷在其中。



圖 2：影片中，保齡球丟入流體化床中，會下沉不見。



圖 3：影片中，乒乓球會漂浮在流體化床沙箱中。

貳、研究目的

1. 分析**流體化運用在沙箱的效果**。
2. 研究**影響流體化床噴發效果之變因**。
3. 研發**自製流體化床沙箱的方法**。
4. 歸納流體化床的**特色與應用**。

參、研究流程圖

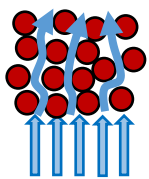


1. 氣流來源
2. 氣流傳送到噴發物方式(水管)
3. 噴發物

分析
流體化床裝置

設計量化裝置
進行測量

- ①剖面觀察裝置
- ②流體化床沙箱



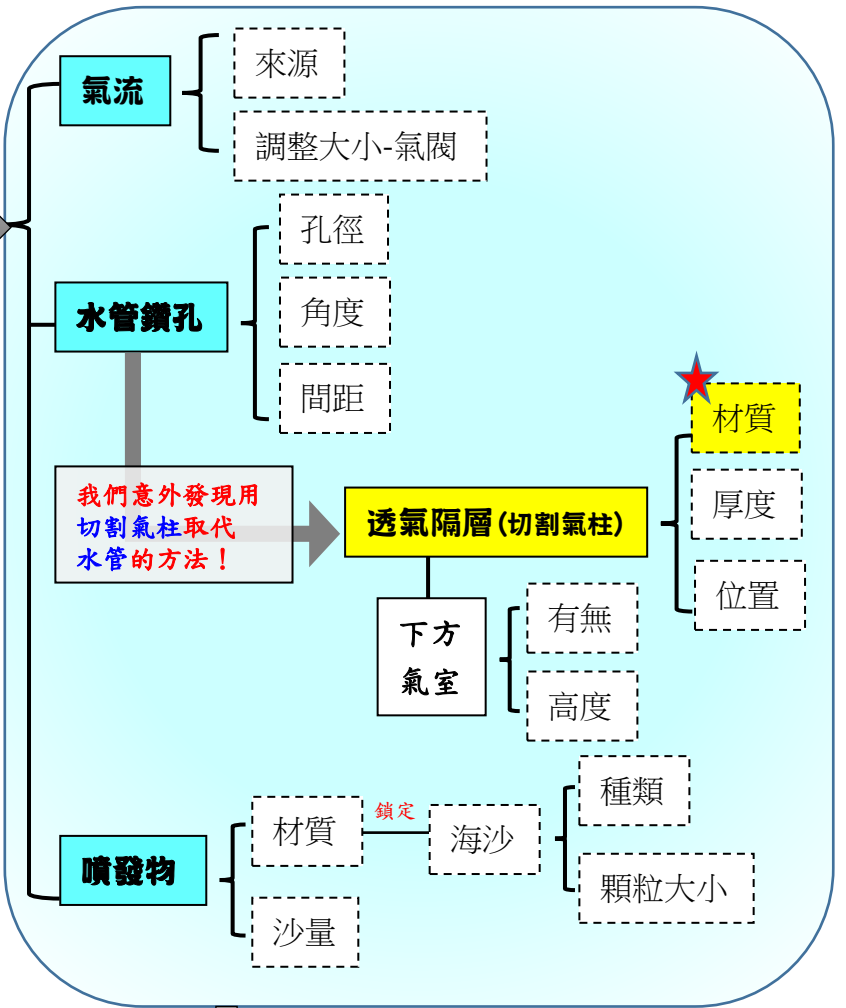
流體化的意義

- 歷程
- 效果

「流沙浴缸」影片



Start
流體化床



根據量化結果，設計自己的流化床

自製流體化床裝置

水管
流體化床



氣泡石流體化床
(透氣陶瓷)



分析出
流體化床特色

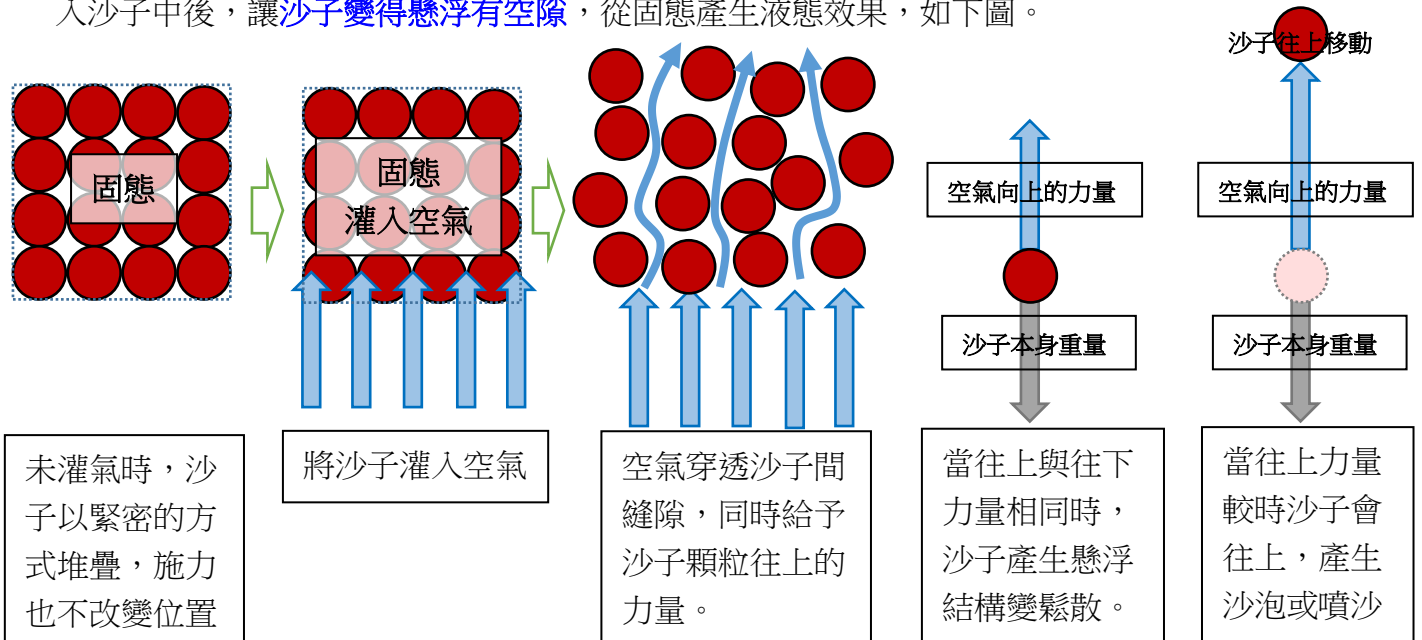
- ★ 固液態轉換
- ★ 改變沙體密度
- ★ 減少摩擦力
- ★ 流體化

新應用

增加更多可能性

肆、文獻探討

什麼是「流體化」呢？我們嘗試蒐集流體化床的相關文獻(請見參考資料 2~4)分析原理，整理出「流體化」是藉由流體讓固體顆粒出現流體性質的狀態。以沙箱實驗來說，就是空氣灌入沙子中後，讓沙子變得懸浮有空隙，從固態產生液態效果，如下圖。



由上圖可知沙子灌入空氣後，結構會從緊密堆疊變成鬆散結構，產生以下效果

❶ 沙子可撥動：灌氣後，沙子間有很多空隙，手能輕易放入，並自由撥動懸浮的沙子。

❷ 重物下沉：灌氣後，因為沙子會懸浮移動，重物沒被沙子卡住，就會從空隙中掉落。

❸ 輕物浮起：灌氣後，輕物被向上的空氣力量推往沙面。且空氣不斷讓輕物在沙面漂動。

輕物被埋在沙中

伍、實驗裝置設計

為了測量流體化床的效果與原理，我們一共花了二個月設計與製作了能產生流體化效果的沙箱，與能觀察沙子流動的剖面觀察裝置，並設計了測量摩擦力與密度變化的檢測方法，訂出標準實驗流程和量化的測量方法。





一、實驗裝置(一)：沙箱裝置

目的：我們嘗試製作能產生流體化床效果的大型沙箱，以進行後續的檢測與實驗。

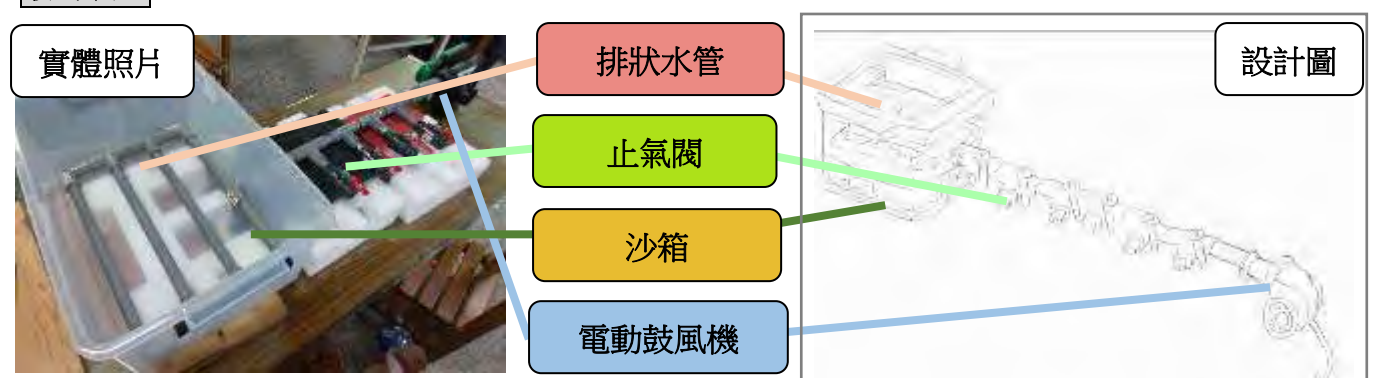
研發流程：我們以塑膠箱和 4 分 PVC 水管做為沙箱的基本結構，以排狀方式製作並以電動鼓風機和止氣閥提供和調整氣流(參見實驗一)。

第一代： 水管： 排狀水管(單側進氣)	缺點： 供氣不均，只有單側噴發	第二代： 水管： 排狀水管(中間進氣)
 <p>單側進氣</p> <p>排狀水管，單側進氣</p>	 <p>只剩供氣這一側會噴沙</p>	 <p>中央進氣</p> <p>改良：從中間供氣給排狀水管</p>

研發歷程圖片：

			
五金行店員熱心教導我們裁切水管方法	塞水桶接頭，再塞水管，就不會漏沙	以電鑽將 PVC 水管鑽洞，讓水管噴氣	以電動鼓風機噴氣，止氣閥調整氣流大小

最終裝置：

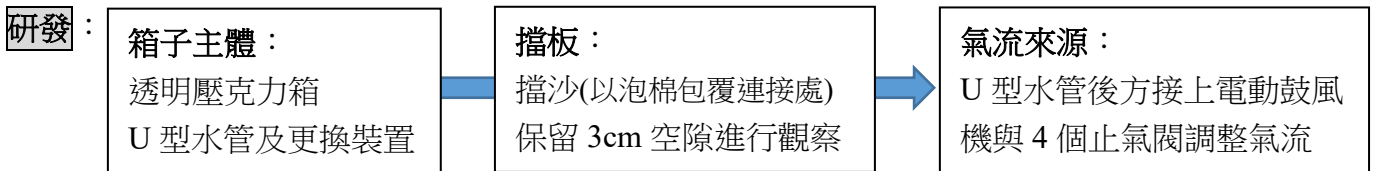


沙箱量化檢測方式：

測量項目	說明及照片	
衝出沙面時間	噴氣後，當沙面出現沙泡或噴沙時停止計時，紀錄氣流衝出沙面時間。	
沙泡數量	拍照計算每張照片出現的半球形沙泡數量。10次紀錄，取8次求平均值。	
噴沙高度	收納箱側邊標出高度，同時記錄三次側面半球形沙泡的高度照片，計算平均。	 
影響面積	停止噴沙後，會出現一圈噴沙影響範圍(凹陷處)，以木棒加深痕跡，拍照後用「Motic Images Plus 2.0」軟體計算面積	 
旋轉摩擦力	將玩具陀螺黏貼在塑膠半球中，轉動兩圈陀螺卡榫(固定力道)。將陀螺打在沙箱中，測量陀螺停止時間(測三次取平均)，秒數越少，則代表摩擦力越大。	
重物沈沒時間	我們將昆蟲觀察盒裝入9片大墊片(485克)當成基本重物，放入沙箱中測量重物整個沒入沙中的時間。若時間越短，代表沙子結構越鬆散。	
沙體密度(浮出高度)	我們利用昆蟲觀察盒(加墊片136克)，測量其在水中(密度1)浮出水面的高度作為基準，類比昆蟲盒在沙面浮出的高度，計算出沙體的密度。(※觀察盒浮出沙面高度測量方式：基準物放入沙箱中，當盒子穩定浮在沙面時，停止供氣，測量高度。)	

二、 實驗裝置(二)：剖面觀察裝置

目的：沙箱只能看到表面的沙泡，我們希望看到沙子內部噴氣後產生的變化，於是嘗試設計出能夠觀察剖面，又能夠更換水管(改變水管變因)的裝置。

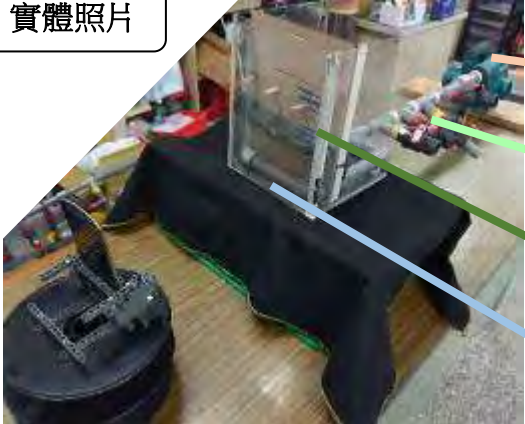


			
雷射雕刻機切出擋板	製作U型水管裝置	U型水管中段可更換	觀察區 基本結構

			
貼刻度，泡棉防漏沙	長尾夾固定擋板	電動鼓風機和止氣閥控制氣流	自製手機架錄下過程

最終裝置：

實體照片



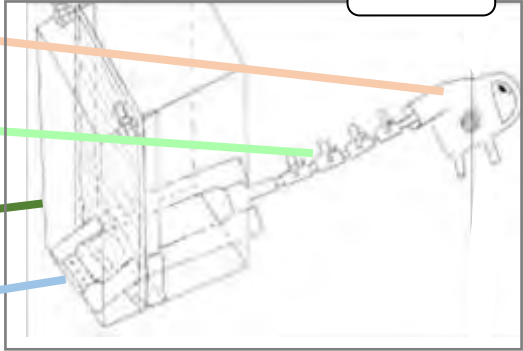
電動鼓風機

止氣閥






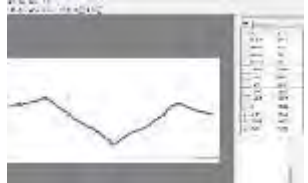
剖面觀察裝置

水管更換處

設計圖



剖面觀察裝置量化檢測方式：

測量項目	說明及照片			
實驗標準 流程				
	確認沙量	開啟鼓風機(全關→全開) 每 30 秒開 1 氣閥	夾住方格紙	打光繪製沙圖
衝出沙面時間	噴氣後，當沙面出現沙泡或噴沙時停止計時，記錄氣流衝出沙面時間。			
噴出 25cm 次數	以 25cm 高為界線(箱子高度)，記錄沙噴超過 25cm 的次數，確認炸開噴沙嚴重度。(影片截圖確認)			
氣室寬度	從全關到全開氣閥狀態，每 15 秒進行截圖。再以旁邊的尺為基準換算出氣室寬度。(影片截圖確認)			
沙圖 ↓ 折線圖	我們將沙圖方格紙掃描後，老師協助以「GetData Graph Digitizer」軟體，將紙本折線圖電子化成 excel 電子檔。藉此可直接比較不同變因產生的沙圖差異！			

陸、研究過程及結果

實驗一、噴氣裝置種類的比較：

(一)、研究動機：

流體化床需要灌入空氣產生效果，但**網路影片使用高壓氮氣瓶當成噴氣來源太危險**。我們試著**尋找周遭能噴氣的裝置**，比較它們將空氣灌入沙中的效果，分析各種裝置的優缺點。

(二)、噴氣裝置種類比較：

噴氣裝置種類	照片	噴沙效果	優點	缺點
手壓鼓風機		有效果	1.能出現漂亮圓形沙泡	1.人力不穩，無法控制力道 2.供氣不穩，會累，無法持續 3.只有一個沙泡
氣球打氣機		有效果	1.可連接各種接管孔徑 2.電動供氣，力道穩定	1.開太久會過熱
魚缸打氣機		無效果	1.可調整氣流大小 2.氣流持續很久 3.電動供氣，力道穩定	1.氣不夠大 2.只能連接 4dmm 口徑水管
空壓機 (教師全程操作)		有效果	1.氣流夠大 2.電動供氣，力道穩定	1.氣量過大，不安全 2.氣不足時會重新打氣，氣流無法定量
電動鼓風機		有效果	1.氣流夠大，可持續很久 2.可調整氣流大小 3.電動供氣，力道穩定	1.無法連接 PVC 水管 2.需要不斷壓住開關

(三)、研究結果：

1. **氣流必須夠大，才能夠產生噴沙效果**。考量安全性與氣流持久穩定，我們決定接下來的實驗使用「**電動鼓風機**」作為基本噴氣裝置。
2. 電動鼓風機的噴嘴無法直接連接 PVC 水管，我們嘗試用各種方法連接水管，例如：紙筒、氣球皮、多捆水管等，但都會漏氣不穩定。最後到五金行買材料時，店員幫我們找到 1 吋橡膠製的「**水桶接頭**」，剛好能夠塞入電動鼓風機的噴嘴。再將 1 吋水管塞入水桶接頭。

我們發現電動鼓風機連接 PVC 水管方法，順利以電動鼓風機進行流體化床實驗



圖 4：到水族賣場購買魚缸打氣機，但氣太弱。
圖 5：套上氣球皮嘗試連接水管，但漏氣失敗。
圖 6：塞入多根水管能夠噴氣，但不實用。
圖 7：1 吋的水桶接頭剛好能塞入電動鼓風機，再連接 PVC 水管。

實驗二、氣流大小（氣閥數量）對噴沙效果的影響：

（一）、研究原因及方法：

在製作裝置的歷程，我們確認了電動鼓風機為主要氣流來源，也試著加入止氣閥來控制氣流大小。我們試以氣壓計進行檢測，進一步了解氣閥控制下氣流大小對噴沙效果的影響。






方式： ① 檢測不同氣閥狀態的氣壓差異 → ② 在裝置中進行不同氣閥效果測試

（二）、實驗記錄：


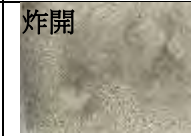

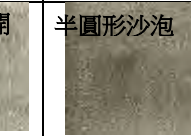
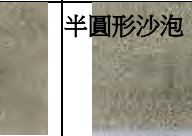
1. 確認氣閥和氣壓的關係：為了確認氣閥和氣壓的狀態，我們買了氣壓計進行氣壓檢測。

	
封住水管末端，裝入氣壓計測量氣壓	由影片記錄打開不同氣閥數量的氣壓變化

2. 剖面裝置（單孔、沙量 10cm、力道 8）

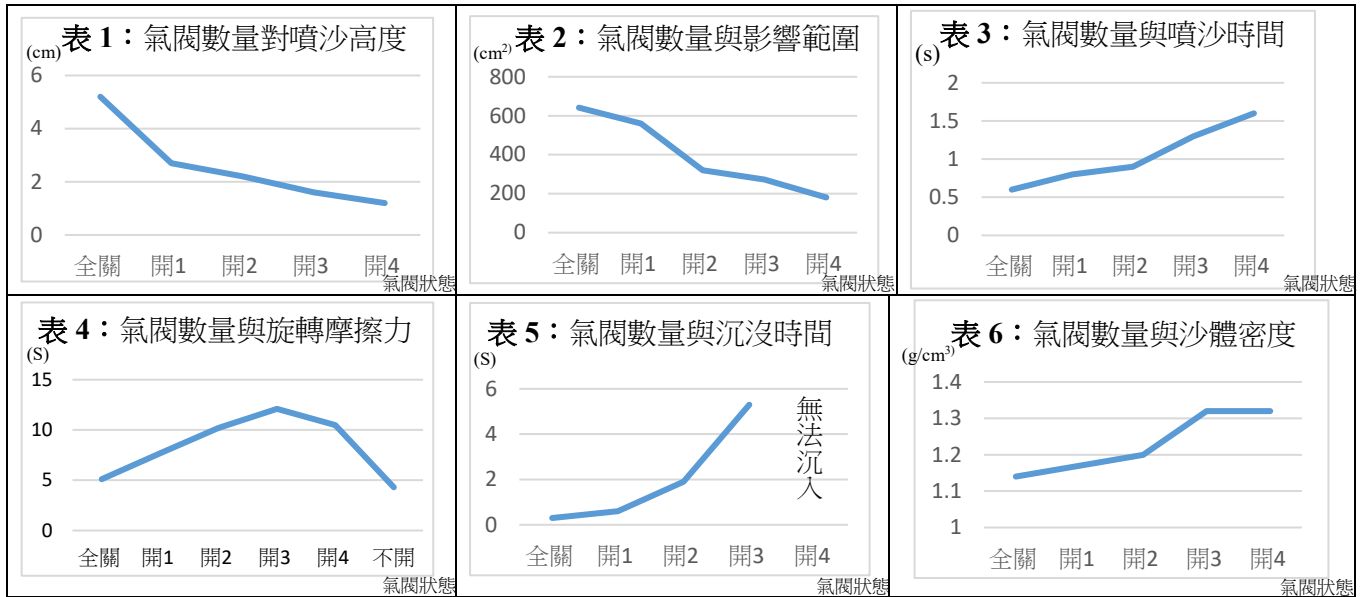
氣閥狀態	全關 (0/4)	開 1 (1/4)	開 2 (2/4)	開 3 (3/4)	開 4 (4/4)
氣壓狀態	3.0kpa	2.1kpa	1.0kpa	0.2kpa	<0.1kpa
噴沙照片					

3. 沙箱氣閥數量的影響（孔洞角度 45 度、沙量 10cm）（以下為平均數據，詳見原始記錄）：

氣閥狀態	全關 (0/6)	開 1 (1/6)	開 2 (2/6)	開 3 (3/6)	開 4 (4/6)
氣壓狀態	7.5kpa	3.2kpa	2.0kpa	1.2kpa	1.0kpa
噴沙高度	5.2 cm	2.7 cm	2.2 cm	1.6 cm	1.2 cm
噴沙照片及效果	炸開 	炸開 	半圓形沙泡+炸開 	半圓形沙泡 	半圓形沙泡 
冒泡水管數	4 條	3 條	3 條	2 條	1 條
影響面積	641.4 cm ²	560.6 cm ²	319.8 cm ²	273.2 cm ²	180.7 cm ²
衝出沙面時間	0.6 秒	0.8 秒	0.9 秒	1.3 秒	1.6 秒
旋轉摩擦力	5.1 秒	7.7 秒	10.2 秒	12.1 秒	10.5 秒
重物沈沒時間	0.3 秒	0.6 秒	1.9 秒	5.3 秒	無法沈入
沙體密度	1.14 g/cm ³	1.17 g/cm ³	1.20 g/cm ³	1.32 g/cm ³	1.32 g/cm ³
摸起來	摸起來像空氣	摸到沙，鬆軟	摸到沙，可撥動	摸沙有阻力	手放不進沙中

備註：氣閥開 5（氣壓 0.2kpa）和 6（氣壓 <0.1kpa）時，沙面沒有任何噴沙冒出，不再進行量化檢測。

3.沙箱效果數據分析



(三)、研究結果：

1. 氣閥的確能調節氣流的大小

2. 剖面裝置：在實驗中，我們發現氣流在沙裡的變化模式，如下：



3. 沙箱：實驗中，我們發現當氣流越小→噴沙高度越低、影響效果面積小、衝出沙面時間越長、重物沉沒時間越長、沙體密度越大。且驗證了我們預測流體化床的特色：

(1)減少摩擦力：陀螺在正常沙面轉動的時間為 4.3 秒，進行噴氣後，陀螺旋轉時間增加。

其中以氣閥開 3 時旋轉時間最長（12.1 秒），但氣流過大或過小，旋轉時間皆較短。推測應該是氣閥全關時，噴沙過高，陀螺會被噴出的沙打到，導致旋轉不順而變慢。而，氣閥開 4 時，產生的沙泡面積太小（只剩一條水管冒泡），無法有效減少摩擦力。

(2)改變沙體密度：透過改變氣流大小，能改變沙體密度（密度介於 1.14~1.32 g/cm³）。

4. 沙箱實驗，當氣閥開 5 和 6 時，雖然沙面沒有動靜。但我們意外發現，放入重物時接觸沙面的地方會出現小小的噴沙(圖 14、15)！表示沙中仍有大量空氣！當有重量壓下時，空氣會找機會衝出來。我們把沙面沒有動靜，但含有大量空氣的狀態命名為「靜沙」！



圖 8: 開氣閥測量氣流大小。



圖 9: 氣流大小使用止氣閥數量開關控制。



圖 10: 裝 9 片墊片觀察盒會沉沒，測消失時間。



圖 11: 裝 2 片墊片觀察盒會浮起，測沙體密度。



圖 12: 用陀螺轉動時間測量旋轉摩擦力大小。



圖 13: 沙泡高度過高，會減少陀螺轉動時間。



圖 14: 氣閥開多沙面會靜止，卻出現小噴沙。



圖 15: 靜沙時，重物放越重，小噴沙越高。

實驗三、水管對噴沙效果的影響 - 孔洞大小：

(一)、研究原因及方法：

除氣流外，流體化床底部排狀水管的鑽孔狀態，又會對噴沙效果產生什麼影響？因此，我們利用剖面觀察裝置，先進行孔洞大小的測試，分別放入 1.5、2.0、2.5、3.0mm 單一孔洞水管測試。在噴出沙面後，每 30 秒開一個氣閥，擷取影像並計算氣室寬度，繪製沙圖。

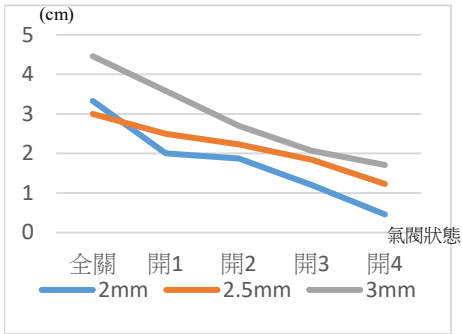
(二)、實驗記錄：1.水管孔洞大小效果（單孔、孔洞角度 45 度、沙量 10cm、鼓風機力道 8 格）：

孔洞大小	衝出沙面時間	噴出 25cm 次數	氣閥全關 (0/4)	氣閥開 1 (1/4)	氣閥開 2 (2/4)	氣閥開 3 (3/4)	氣閥開 4 (4/4)
2 mm	8 秒	0 次					
2.5 mm	2 秒	32 次					
3 mm	2 秒	36 次					

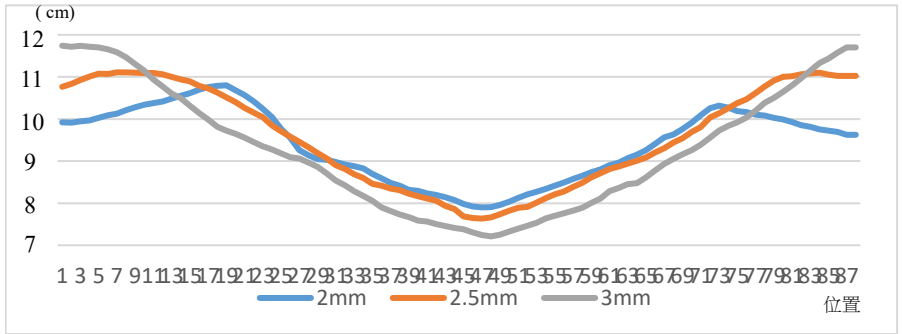
2.「氣室寬度、形狀與噴發與否」數據資料：

孔洞大小	1.5 mm	2mm			2.5mm			3mm		
		氣室寬 cm	形狀	噴出	氣室寬 cm	形狀	噴出	氣室寬 cm	形狀	噴出
氣閥全關	完	3.33	柱型	○	3.00	柱型	○	4.46	柱型	○
氣閥開 1	全	2.00	柱型	○	2.50	柱型	○	3.58	柱型	○
氣閥開 2	沒	1.87	柱型	○	2.23	柱型	○	2.70	柱型	○
氣閥開 3	反	1.20	香菇型	X	1.84	柱型	○	2.07	柱型	○
氣閥開 4	應	0.46	香菇型	X	1.23	香菇型	X	1.71	柱型	○

3.氣室寬度折線圖：



4.沙圖折線圖 (噴發時間：2 分 30 秒)：



(三)、研究結果：

1. **水管孔洞越大 (3mm)，噴沙明顯**，衝出時間快，且氣室寬度大，噴出 25cm 以上次數多。但若孔洞太小 (1.5mm) 則無反應。因為孔洞直徑 2mm 最穩定，以進行後續實驗。
2. 沙圖的部分，明顯看見孔洞越大，氣流強度越大。因此，中央凹陷會越明顯、兩側堆積越高，影響範圍也越大。

實驗四、水管對噴沙效果的影響 - 孔洞角度：

(一)、研究原因及方法：

孔洞大小確認直徑 2mm 後，孔洞角度會產生什麼影響？我們以剖面裝置進行以下測試：
單孔水管模式：0 度(水平)、45 度(斜向下)與 90 度角(正下方)。

雙孔水管模式：0 與 180 度、45 與 135 度、85 與 95 度(因兩洞無法同時開在 90 度，修正成 85、95 度)

再由實驗中擇優，進行大型沙箱的角度效果測試。

(二)、實驗記錄：

1. 剖面觀察箱孔洞角度及單雙孔比較 (沙量 10cm、鼓風機力道 8 格)：

數量	單孔			雙孔		
	0 度 (←)	45 度 (↙)	90 度 (↓)	0、180 度 (← →)	45、135 度 (↙ ↘)	85、95 度 (↓ ↓)
氣室 截圖						
氣室寬	2.33 公分	1.81 公分	2.97 公分	1.22 公分	1.81 公分	3.99 公分
推論	從氣室寬度來看，當水管鑽孔從單孔變成雙孔時，只有 85、95 度數據變大。表示 85、95 度雙孔噴出的氣合成一個氣室！45、135 度氣室寬度沒有改變，0、180 度氣室寬度甚至變小，表示雙孔各自形成一個氣室。					

2.沙箱雙孔洞角度效果實驗截圖（由「全關依序將氣閥打開」錄影並截圖）：

孔洞角度	0、180度(← →)	45、135度(↙ ↘)	85、95度(↓ ↓)	數據推論
氣閥全關 (0/6)				氣閥依序打開，可從截圖中看到相同的趨勢： ● 0、180度產生半球形沙泡較小較多，85、95度產生半球形沙泡較大較少。 ● 雖然都是開雙孔，但只有0、180度能在兩側各產生小沙泡！85、95度與45、135度的雙孔都會合成一個大沙泡。
氣閥開1 (1/6)				
氣閥開2 (2/6)				
氣閥開3 (3/6)				
氣閥開4 (4/6)				
氣閥開5	沒反應	沒反應	沒反應	

2.沙箱雙孔洞角度效果測試（氣閥開3、沙量10cm）（以下為平均數據，詳見原始記錄）：

孔洞角度方向	0、180度(← →)	45、135度(↙ ↘)	85、95度(↓ ↓)
角度方向 水管打洞示意圖			
噴沙高度(cm)	1.8	1.7	3.6
影響面積(cm ²)	272.0	171.8	112.2
出現效果時間(s)	2.2	2.2	4.4
旋轉摩擦力(s)	17.3	15.9	11.3
重物沈沒時間(s)	2.6	4.0	14.4
沙體密度(g/cm ³)	1.32	1.43	1.55

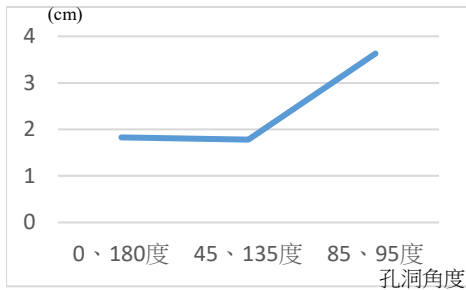


表 7：孔洞方向對噴沙高度折線圖

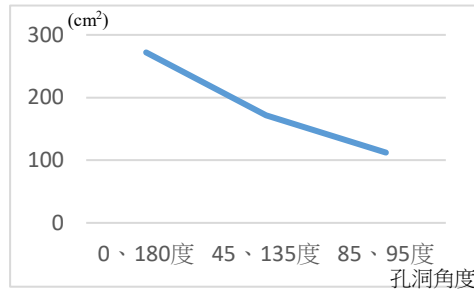


表 8：孔洞方向對影響面積折線圖

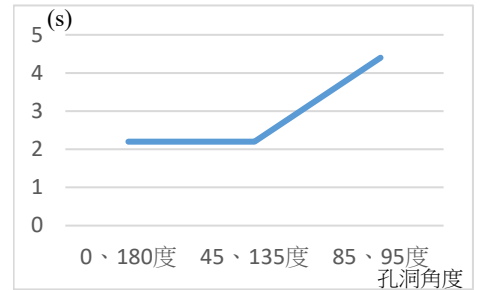


表 9：孔洞方向對出現時間折線圖

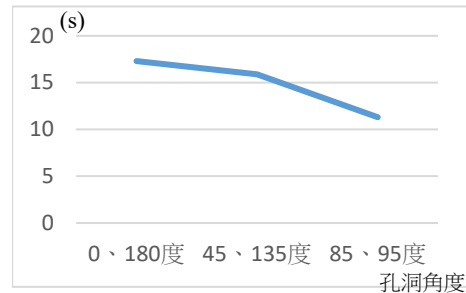


表 10：孔洞方向對旋轉摩擦力折線圖

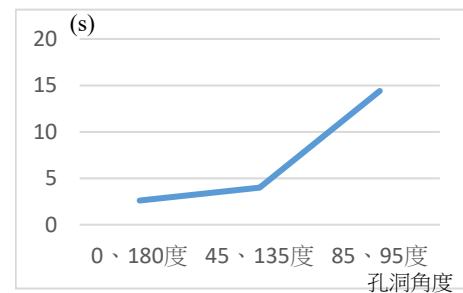


表 11：孔洞方向對沉沒時間折線圖

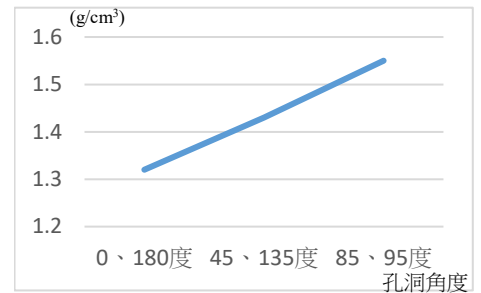


表 12：孔洞方向沙體密度折線圖

(三)、研究結果：

1. **雙孔力道優於單孔**，影響範圍較多。
2. 雙孔角度中的測試中，我們發現：
 - (1)**85、95 度孔洞會因太近**，導致氣體合成大氣室，氣流變大，噴得高，沙泡少。
 - (2)沙箱實驗中，**只有 0、180 度能在兩側形成小氣室**，噴得矮但沙泡多，影響範圍大。
 - (3)越朝兩側（**0、180 度**），噴沙高度越矮、影響面積大，出現效果的時間越短。
3. 沙箱 **0、180 度**孔洞角度中，旋轉摩擦力最小、沉沒時間長，且能形成更多小沙泡，影響範圍更大。因此接下來的實驗皆以**0、180 度作為孔洞鑽洞角度**。
4. 我們察覺「**表面產生越多沙泡**」，沙箱的**流體化效果會越好**！當半球形沙泡的數量越多，噴沙高度會變低；影響範圍會變大；旋轉摩擦力小；轉的時間會變久。



圖 16：測量水管孔洞的角度並標記以方便鑽洞



圖 17：90 度要打兩個洞，改成用 85、95 度



圖 18：觀看沙泡高度照片計算高度平均值。



圖 19：觀看三種角度噴氣的影片，記錄差異。

實驗五、水管對噴沙效果的影響 - 孔洞間距：

(一)、研究原因及方法：

從實驗四發現**表面產生越多沙泡，沙箱的流體化效果會越好！**之前決定了孔洞的大小、角度後，我們想知道**增加水管鑽孔的數量（孔洞間距縮小），是否就能增加表面沙泡的數量。**因此，我們在相同長度的水管上分別以間距 1、2、3 公分鑽洞，裝至剖面觀察裝置與沙箱中進行檢測。為了瞭解孔洞數量與沙泡數量的關係，我們以沙泡數量除以鑽孔數量，得到「**產生沙泡率**」（沙泡數量/鑽孔數量）。

(二)、實驗記錄：

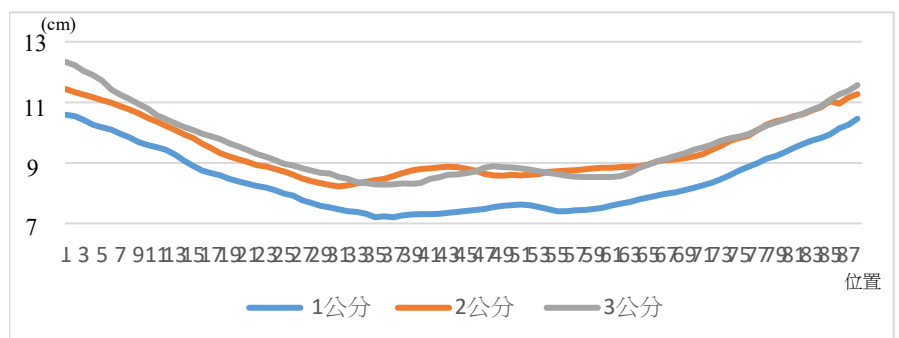
1. 剖面觀察裝置孔洞間距效果（孔洞角度 45 度、沙量 10cm、鼓風機力道 8 格）：

孔洞間距	1 公分	2 公分	3 公分	數據推論
水管鑽孔數(個)	9	5	3	由影片截圖可觀察到： ●當下方氣室相連成大氣室時，炸開噴沙的效果會越顯著！ ●水管孔洞間距越小，氣室合成大氣室越嚴重 A、孔洞間距 1 公分的水管，因孔洞距離太近，即使氣閥開到 4，下面的氣室也都是相連，造成大噴發。 B、孔洞間距 2cm 水管在氣閥開 2，就能變成五條各自獨立的氣室。 C、孔洞間距 3cm 水管在氣閥開 1 時就能變成獨立氣室。
衝出沙面時間	1 秒內	1 秒內	1 秒內	
衝過 25cm 次數	大爆炸	100 次	30 次	
氣閥全關 (0/4)				
氣閥開 1 (1/4)				
氣閥開 2 (2/4)				
氣閥開 3 (3/4)				
氣閥開 4 (4/4)				

2. 噴發後沙圖折線圖：

（噴發總時間：2 分 30 秒）

由右邊沙圖可知**兩側都沒有積沙**，表示**炸開噴沙效果嚴重**。其中又以間距 1 公分最嚴重，沙噴高到裝置外，所以**沙量減少很多**。



3. 沙箱中孔洞間距的影響：(氣閥開 3、沙量 10cm) (以下為平均數據，詳見原始記錄)：

孔洞間距	1 公分	2 公分	3 公分
水管鑽孔數量(個)	182	91	60
沙泡數量(個)	16.5	13.4	4.25
產生沙泡率	0.09	0.14	0.07
噴沙高度(cm)	4.6	1.8	太低，無法記錄
影響面積(cm ²)	460.8	239.0	247.4
旋轉摩擦力(s)	10.9	13.8	17.5
重物沈沒時間(s)	1.4	2.5	21.7
沙體密度(g/cm ³)	1.32	1.43	1.35
數據推論	間距 1 公分的沙泡數量最多 (16.5 個)，但以產生沙泡率來看，沙泡數量卻只有鑽孔數量的 0.09 倍。表示孔洞因為太近，產生的氣室合在一起，浮出來的沙泡數量才會遠遠少於鑽孔數。 反而間距 2 公分產生沙泡率 (沙泡數量/鑽孔數量) 是效果最佳的！		

備註：產生沙泡率= 沙泡數量/鑽孔數量

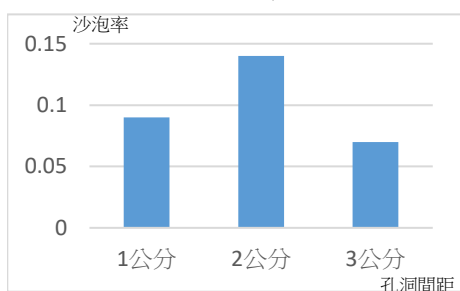


表 13：產生沙泡率長條圖

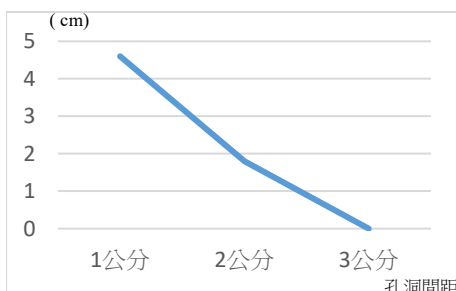


表 14：孔洞密度對噴沙高度折線圖

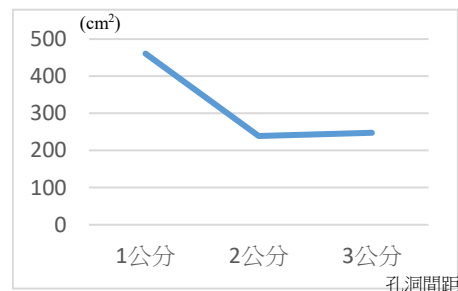


表 15：孔洞密度對影響面積折線圖

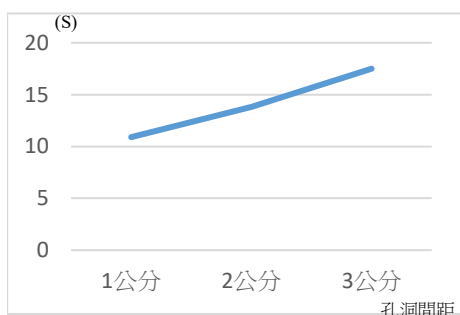


表 16：孔洞密度對旋轉摩擦力折線圖

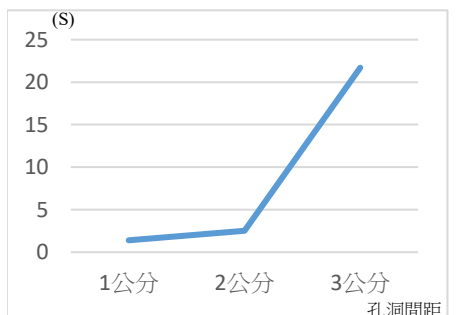


表 17：孔洞密度對沉沒時間折線圖

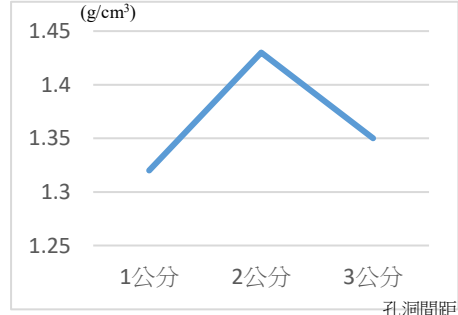


表 18：孔洞密度對沙體密度折線圖

(三)、研究結果：

1. 孔洞間距增加 (鑽孔數量)，是無法增加半球形沙泡的數量。
2. 因為產生沙泡率 (沙泡數量/鑽孔數量) 以 2cm 間距效果最佳(0.14)！因此之後的實驗以水管孔洞間距為 2cm 為主。
3. 孔洞間距越密，產生的噴沙效果越嚴重！改變孔洞間距(也就是增加孔洞數)比改變氣閥數量，更能夠影響噴氣的效果與高度！



圖 20：以電鑽鑽出間距 1 公分的孔洞。



圖 21：間距 1cm 噴沙很嚴重，噴到觀察箱外

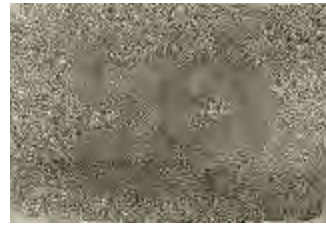


圖 22：間距 1cm 有 182 個洞，平均只有 16.5 個沙泡。



圖 23：間距 2cm 有 91 個洞，平均有 13.4 個沙泡。產生沙泡率較高。

實驗六、沙量高度對噴沙效果的影響：

(一)、研究原因及方法：

我們從實驗二找到了氣流力道的影響和控制，又由實驗三~五，確認了較佳的水管狀態(孔洞 2mm；0、180 度；間距 2cm)。因此我們以沙箱為主體，測試沙量高度對噴沙效果的影響。

(二)、實驗記錄：

1. 沙箱沙量高度數據 (氣閥開 3) (以下為平均數據，詳見原始記錄)：

沙量高度	4 公分	6 公分	8 公分	10 公分	12 公分	14 公分	16 公分
沙泡數量(個)	42.3	52.9	25.8	21.4	13.6	5.6	0
旋轉摩擦力(s)	7.4	8.4	11.3	12.4	13.0	18.2	27.4
拉動摩擦力(g)	33.3	20.0	3.3	2.3	6.7	6.0	6.7

備註：實驗中，我們發現沙量對摩擦力影響大，因此同時改變氣閥進行深入研究(如下)！

2. 旋轉摩擦力數據(淺藍色是「靜沙」:表面沒有任何噴沙或沙泡)(沒開鼓風機時為 4.3 秒)：

沙量高度	4 公分	6 公分	8 公分	10 公分	12 公分	14 公分	16 公分
氣閥全關 (0/6)	6.2 秒	6.3 秒	4.7 秒	4.5 秒	3.6 秒	4.7 秒	3.2 秒
氣閥開 1 (1/6)	6.7 秒	7.1 秒	7.3 秒	7.0 秒	8.3 秒	8.0 秒	7.7 秒
氣閥開 2 (2/6)	6.5 秒	7.5 秒	10.5 秒	10.2 秒	11.2 秒	12.4 秒	12.5 秒
氣閥開 3 (3/6)	7.4 秒	8.4 秒	11.3 秒	12.4 秒	13.0 秒	18.2 秒	27.4 秒
氣閥開 4 (4/6)	6.9 秒	7.9 秒	11.6 秒	12.5 秒	13.9 秒	31.9 秒	32.2 秒
氣閥開 5 (5/6)	7.8 秒	8.9 秒	12.5 秒	16.2 秒	16.3 秒	25.1 秒	22.6 秒
氣閥開 6 (6/6)	7.3 秒	6.9 秒	12.2 秒	16.2 秒	23.7 秒	17.9 秒	17.2 秒

3. 拉動摩擦力數據 (淺藍色是「靜沙」:表面沒有任何噴沙或沙泡) (沒開鼓風機時為 58 克)：

沙量高度	4 公分	6 公分	8 公分	10 公分	12 公分	14 公分	16 公分
氣閥全關 (0/6)	20.0 克	5.0 克	1.7 克	2.7 克	4.0 克	4.7 克	5.0 克
氣閥開 1 (1/6)	28.3 克	10.0 克	2.3 克	5.7 克	5.0 克	2.3 克	6.7 克
氣閥開 2 (2/6)	30.0 克	10.0 克	3.0 克	3.0 克	6.0 克	5.7 克	9.3 克
氣閥開 3 (3/6)	33.3 克	20.0 克	3.3 克	2.3 克	6.7 克	6.0 克	6.7 克
氣閥開 4 (4/6)	40.0 克	25.0 克	3.7 克	4.7 克	8.3 克	8.3 克	12.7 克
氣閥開 5 (5/6)	41.7 克	36.7 克	9.7 克	15.7 克	9.0 克	16.7 克	30.0 克
氣閥開 6 (6/6)	43.3 克	41.7 克	13.3 克	20.0 克	8.7 克	16.7 克	33.3 克

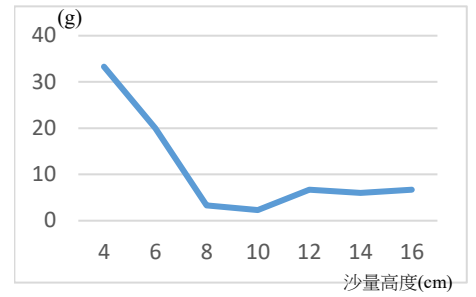
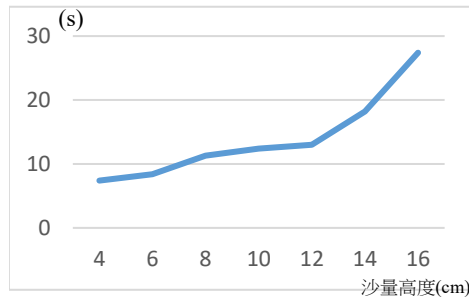
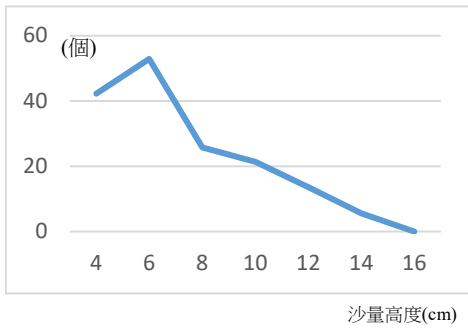


表 19：沙量高度對沙泡數量折線圖

表 20：沙量高度對旋轉摩擦力折線圖

表 21：沙量高度對拉動摩擦力折線圖

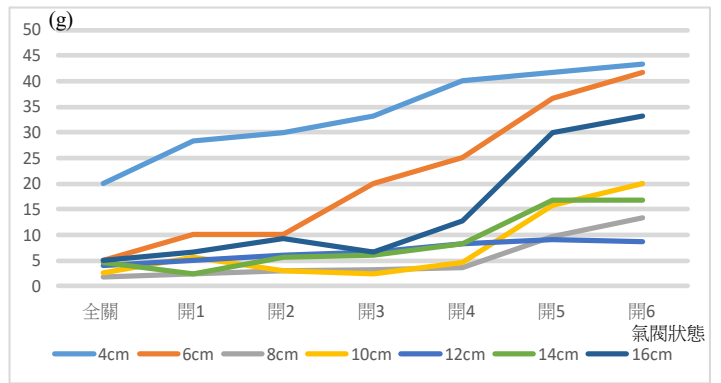
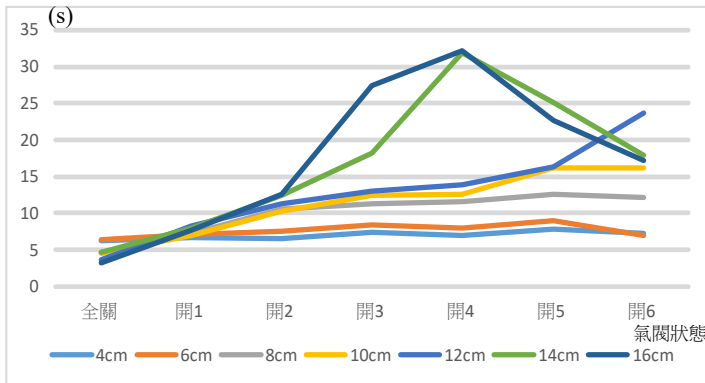


表 22：沙量高度與氣閥數量對旋轉摩擦力折線圖

表 23：沙量高度與氣閥數量對拉動摩擦力折線圖

(三)、研究結果：

1. 沙量高度越高，產生的半球形沙泡越少，甚至出現沒有噴沙或沙泡（「靜沙」狀態）。
2. 沙量高度越高，旋轉摩擦力越小。沙高 16cm，陀螺可轉 32.2 秒（在靜止沙地僅 4.3 秒）！但，若氣閥開過多，旋轉摩擦力反而增加。
3. 沙量高度越高，拉動摩擦力越小。沙高 8cm，拉動只需 5g 以下（在靜止沙地拉動需 58g）！但當沙量過高或氣閥開過多，拉動摩擦力會增加。
4. 當沙量高度高、氣閥開多，灌入空氣時會產生「靜沙」狀態，此時旋轉摩擦力會更小！因為沒有沙泡干擾，陀螺轉動的時間會變長！甚至以手撥動停止的陀螺，陀螺也會隨意轉動，表示此時摩擦力非常小！



圖 24：改變沙量高度，測量噴沙的差異。



圖 25：以彈簧秤拉動重物，測量拉動摩擦力



圖 26：為避免沙噴入彈簧秤，外面加上投影片



圖 27：靜沙時旋轉摩擦力最小，接觸面會噴沙











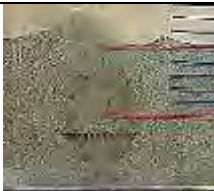





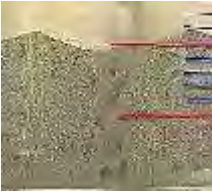


















實驗七、切割氣柱效果測試 - 不同材質的隔層：

(一)、研究原因及方法：

從實驗五（孔洞間距）發現，一旦讓空氣在沙中形成大氣室，就會變成大氣柱衝出沙面產生大爆炸，無法增加半球型沙泡數量。因此我們想到用「本身就很多洞」的材質當隔層，是不是就能協助切割氣柱？於是我們挑選幾種有孔洞的材質，放入剖面觀察裝置進行測試。

(二)、實驗結果：

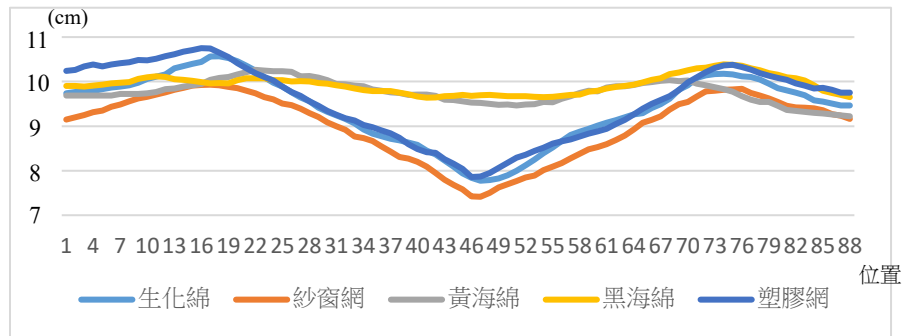
1. 不同材質效果（孔洞角度 45 度、沙量 10cm、放置 4cm 水管上方，隔層上方加 10cm 沙）：

切割氣柱 材質	塑膠網 (一層) 	紗窗 (一層) 	生化棉 (立體) 	黃海綿 (立體) 	黑海綿 (立體) 
材質孔洞 放大照					
孔洞大小	0.0412cm ²	0.0304 cm ²	0.0487cm ²	0.0080 cm ²	0.0250cm ²
氣柱切割	產生氣柱衝出	產生氣柱衝出	產生氣柱衝出	氣柱切割成泡泡	氣柱切割成泡泡
鼓風機力道	力道 8 格	力道 8 格	力道 8 格	力道 9 格	力道 9 格
氣閥 全關 (0/4)					
氣閥 開 1 (1/4)					
氣閥 開 2 (2/4)					
氣閥 開 3 (3/4)					
氣閥 開 4 (4/4)					

2.不同材質沙圖折線圖：

(總噴發時間：2分30秒)

由右邊沙圖可知**黑海綿與黃海綿中間沒有下陷**，因為**沙子不回流**，且**海綿能有效切割氣柱**，降低炸開噴沙。其他隔層沒有切割氣柱效果。



(三)、研究結果：

1. **黃海綿與黑海綿的孔洞小又立體**，能有效阻擋空氣直接噴出及上方沙子往下流失問題。因此，空氣遇到海綿不會直接噴出，會先在下方累積成大氣室後分流，所以沙圖中間下陷少。但，單層結構（紗窗和塑膠網）或孔洞過大（紗窗、塑膠網和生化棉），隔層無法順利切割和阻擋氣柱，空氣穿透隔層往上衝，沙子順勢落下，中央自然凹陷嚴重。
2. 單層孔洞越大，噴出沙面時間越短。但**孔洞過大**，**沙子會往下漏**，造成噴沙效果不佳。
3. 使用**海綿隔層**，**需更大的氣流才能出現噴沙**，因為氣流通過海綿(孔小)需要額外力道。
4. 我們最後選擇**黑海綿**當作實驗隔層，因黃海綿孔洞太小，容易被空氣整個往上推移位。



圖 28：更換不同的隔層進行剖面觀察箱測試



圖 29：使用電子放大鏡觀看材質孔洞大小



圖 30：塑膠網孔洞太大，沙子會往下漏沙



圖 31：透光照會發現沙子跑到黑海綿裡面。

實驗八、切割氣柱效果測試 – 下方氣室留不留？：

(一)、研究原因：

雖然海綿能切割氣柱，但氣流仍以噴氣孔附近為主，影響範圍小。因此，我們試著讓**海綿下方留下完整的大氣室**，看看能否**增加影響的範圍**。


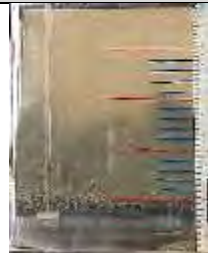








(二)、研究過程：

1. **氣室大時**，**需較大力道**。單孔力道太小，因此改以多孔（間距 1cm，9 孔）提高力道。
2. 我們選擇 **1cm 厚的黑海綿作為隔層**（厚度選擇的原因請參考原始實驗資料），並製作架高海綿裝置（如下圖）來測試氣室大小（4cm 高、10cm 高和 15cm 高）對噴發效果的影響。
3. 除剖面觀察裝置外，我們也試著將黑海綿放入沙箱中測試其效果。

					
海綿需要架高，但海綿下方無法騰空 於是我們製作 木樁 來協助 支撐海綿 。			密封氣室 (熱熔膠封海綿)	黏土補強壓克力與木板交界處。	海綿架高裝置

(三)、實驗記錄：

1. 不同氣室大小與沙量的關係 (9 孔)

沙量	1 公分	3 公分	5 公分	數據推論
海綿位置 4 cm				<ul style="list-style-type: none"> ● 有無保留空間的差異： 沒有氣室的 9 孔洞：噴發力道大。但兩側沒有反應(如下圖)。  有氣室的 9 孔洞：噴發高度沒那麼高，但影響範圍大也較均勻 ● 氣室越大，噴沙反應越小。我們推測氣流力道因為氣室過大而減弱！ ● 噴沙高度和氣室大小較無關，主要還是沙子高度在影響。
海綿位置 10cm				
海綿位置 15cm				

2. 沙箱效果：

從剖面觀察裝置能看見黑海綿能順利切割氣柱，因此我們嘗試使用**沙箱**，先將 1cm 厚的黑海綿一塊塊接起來，再用熱融膠黏在沙箱上（避免氣流外洩），最後海綿上面放沙，製造出下方留氣室的效果，以進行沙箱效果的測試，如下表，實驗圖片請參考「圖 36~38」：

(10cm 沙量高度)	噴沙高度(cm)	沙泡數量(個)	轉動摩擦力(s)	拉動摩擦力(g)
黑海綿隔層、有大氣室	13.0	3.3	4.3	46.6
無黑海綿、氣室(對照組)	1.8	21.4	12.4	2.3

發現：**沙箱的氣流沒有均勻散發出來！**是優先**從箱子的邊緣噴發**，且是從邊緣大量竄出來。若把四周沙堆高或中間沙挖淺，沙泡才會從中間冒出。但，以集中噴發多，並沒有均勻分散。

(四)、研究結果：

1. 黑海綿下方保留氣室，能讓噴沙範圍變大(整面皆有)，但需更大的氣流才能產生效果。
2. 下方留氣室的高度越高，噴沙效果越差。建議海綿架高在 4cm 處 (水管正上方)。
3. 沙箱部分：我們發現以黑海綿作為沙箱的隔層，效果其實不好！

推測黑海綿太軟易變形，放置在大沙箱時，海綿上方放沙後，海綿中間承受壓力大，會下陷。造成箱子邊緣的海綿比中間高。表面沙子較少，因此氣流優先從邊緣出來，無法均勻分散氣流。但，若沙量高度 1cm 時，會出現密密麻麻小沙泡 (圖 39)，表示隔層分割氣柱是有用的，只是我們需要更硬不會變形又能透氣的東西當隔層！



圖 32：到水果店向老闆要水果禮盒的海綿。



圖 33：水果海綿不夠大，氣從旁邊縫隙噴發



圖 34：將黑海綿做成套筒，但旁邊嚴重漏氣。



圖 35：將黑海綿直接黏貼在收納箱上當隔層。



圖 36：沙高 2cm，氣從箱子邊緣先噴發小沙泡



圖 37：沙高 10cm，氣從箱子邊緣大爆發炸開



圖 38：加高邊緣沙高，噴發集中在中間，但沙泡還是沒有均勻分散。



圖 39：沙量少時，黑海綿能造成大量小沙泡，隔層成功分割氣柱。

實驗九、自製氣泡石流體化床研究：

(一)、研究原因：

透過隔層分割氣室的方式的確有用，但，黑海綿太軟容易變形，因此，我們尋找更堅固、不易變形又能透氣的隔層材料來改造流體化床！我們首先想到水族賣場的氣泡石！

(二)、實驗方法及記錄：

1. 金鋼砂氣泡石種類分析：(這是一般在水族賣場常見的氣泡石)





形狀	長條形	球形	圓餅形
效果	僅前端冒出大沙泡，中、後端都沒有沙泡產生	周圍能冒出均勻小沙泡，但佔空間。大型球形不易購買	中間會出現小沙泡。扁平狀，易架設在圓筒中

2. **氣泡石效果研究**：以圓餅型為主，因為它具有均勻沙泡且容易購買(不同尺寸)、架設。





(1) **「圓餅形金鋼砂氣泡石」初次測試** (以下簡稱：圓餅氣泡石)→**沙子無反應!**

			
在水族賣場看見的圓餅氣泡石(100目)及其噴氣效果。	上網購買圓餅氣泡石，直徑為 15cm、10cm、8cm、5cm。	接氣後， 沙子沒反應! 推測接氣口徑太小(4mm)，灌入的氣太少。	水管直接放在氣泡石下方，灌入氣體後 沙子仍沒有反應。

(2) **圓餅氣泡石挖洞測試**→**沙子有反應，但沙泡大小不均!**

			
氣泡石敲破後，發現有氣室。氣體要同時穿過上下層金剛砂與氣室，較難。	嘗試將氣泡石下方挖一個洞，連接 4 分管，以大孔徑的噴氣，直接灌氣到氣室中。	氣流成功穿過氣泡石，但噴出沙泡大小不均勻。推測中層氣室太小，中央氣流影響較大	嘗試把下層氣泡石敲破，只留上層。將這一片氣泡石黏在圓筒邊，留下方 4cm 高的氣室。

(3) **保留氣室**→**沙子能均勻噴出** ★

			
噴沙效果極佳，沙泡小又均勻! 我們找到製造流體化床沙箱新方法!	將氣泡石下層打洞很辛苦，又容易破掉，希望有單層氣泡石。	買另一種氣泡石： 透氣陶瓷器氣泡石 (320目)，進行測試!	以透氣陶瓷做出的流體化床噴氣效果更好 沙子很像液體!

3. **流體化床新效果的量化**：

使用氣泡石做的流體化床，沙子更像液體。因此我們增加了兩種流體化效果的量化測試：

(1) **水花高度測試**：

用手撥動沙子會有水波的效果。**彈珠從高處丟進去，會產生水花**的效果(如下圖)!

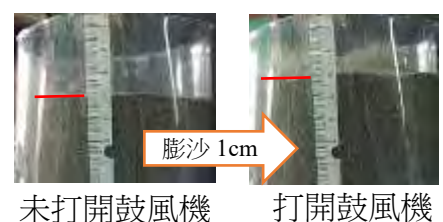
我們讓直徑 1.5 公分的彈珠由 30cm 高自由落下，再拍攝其濺起的沙子最高高度。



(2) **膨沙高度**：

我們發現**開啟鼓風機後，裝置中的沙量高度居然會增高!**






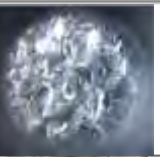



我們測試這種**沙子因空氣而增高的高度**—「**膨沙高度**」。








4. 不同隔層流體化床效果比較研究：

我們比較三種自製「隔層流體化床」的效果，將直徑 10cm 不同隔層黏在透明圓筒內，下方留相同氣室（高 4cm），進行「膨沙高度、沙泡高度、沙泡數量、水花高度」的比較。

（以下為平均數據，詳見原始記錄）：

隔層材質	透氣陶瓷		金剛砂		黑海綿	
材質/孔洞放大照						
噴沙效果	沙泡 均勻分佈		沙泡 均勻分佈		沙泡分佈 在邊緣	
膨沙高度(cm)	0.9		0.5		0	
沙泡高度(cm)	0.7		1.7		2.9	
沙泡數量(個)	15.2		8.8		7.0	
水花高度(cm)	4.4		3.8		水花比沙泡低，看不清楚	

5. 透氣陶瓷效果研究：我們發現透氣陶瓷的噴氣效果最佳。因此針對其沙量高度進行測試

沙量高度	1 公分	2 公分	3 公分	4 公分	5 公分
噴沙效果					
膨沙高度(cm)	0.5	0.3	0.7	0.9	1.0
沙泡高度(cm)	0.3	0.3	0.5	0.7	0.9
沙泡數量(個)	57.6	34.0	14.0	15.2	10.0
水花高度(cm)	沙太低沒測(彈珠直徑 1.5cm)		2.1	4.4	4.5

(三)、實驗結果：

- 我們找到流體化床製作新方法「以透氣陶瓷（或金鋼砂）氣泡石當隔層，下方留氣室」，使流體化床氣流均勻分佈，產生更密集沙泡，流體化效果更佳（產生水花和膨沙）。
- 透氣陶瓷的效果優於金鋼砂，膨沙高度更高；沙泡數量更多；水花高度更高。
- 當沙量高度越高，膨沙高度越高；沙泡高度越高；沙泡數量越少；水花高度越高。
- 膨沙現象（當噴氣後，沙量高度會增高）可證明流體沙床的沙含有大量空氣。



圖 40：從 30cm 高放開彈珠，量濺起沙高



圖 41：直尺插在中間測量沙泡高度。



圖 42：下壓保麗龍球，沙面會產生波浪。



圖 43：因均勻噴氣，沙量低時產生密集小沙泡

實驗十、不同噴發物對噴沙效果的影響：

(一)、研究原因：

我們從氣體力道的調整、灌入沙子方式的測試，到找出「透氣陶瓷」做為切割空氣的最佳材質後。想進一步了解**不同材質噴發物**，研究其噴沙效果差異。

(二)、實驗方式及結果：

1. 不同材質的噴氣效果：我們使用剖面觀察裝置快速更換各種材質，記錄他們的噴發效果

材質	沙石類				穀物(大.輕)	晶體(小.輕)	
	原海沙	小岩石	發泡煉石	培養土	小米	小蘇打粉	鹽巴
放大							
大小	0.00103cm ²	0.4027cm ²	0.32945cm ²	0.00003-0.013 cm ²	0.0548cm ²	0.0000099cm ²	0.0001519 cm ²
樣本重	28.1g	9.4g	7.7g	15.3g	17.6g	25.2g	25.8g
單顆粒	太輕測不出	0.03g	0.042g	太輕測不出	0.007g	太輕測不出	太輕測不出
全關 (0/4)							
噴發	大	小晃動	小晃動	沒反應	會轉動	大(僅小孔)	噴不出來

(三)、研究結果：

1. 材質的部分，我們發現**顆粒的大小、形狀、輕重和性質**都會影響噴沙效果。

- (1) **顆粒越大，顆粒之間的縫隙也越大**，空氣會直接穿越縫隙離開，不會產生噴沙效果。
- (2) **顆粒太小或黏性太高，造成縫隙太小，空氣也無法穿透**，只能累積成氣室，等待噴發。
- (3) 顆粒若是圓形，噴發效果較好。
- (4) 顆粒越輕，容易噴出。但顆粒太輕則會跟著氣體散到空中(如小蘇打粉)，無流體化效果。

2. **意外發現**：小米本身呈球形會滾動，而沙子的顆粒比小米小，重量又比小米輕。因此，**透氣陶瓷平均分散氣體的能力，讓空氣平穩上升，簡單分離了盆子裡的小米與沙子！**

沙子混小米→沙子自動往上移動	沙子噴出表面，離開小米	雖然小米在裝置中沒有噴發，但，不小心留在小米內的沙子竟然慢慢移到表面，直接和小米分離！

實驗十一、沙子種類及顆粒差異對噴發效果的影響：

(一)、研究原因：

從噴發物材質的測試中，我們發現**沙子仍是最適合產生流體化效果的材質**。因此，我們利用寒假期間蒐集了不同地點的海沙，進一步研究不同海沙對噴沙效果的影響。






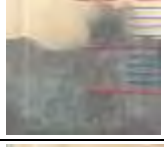
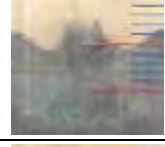
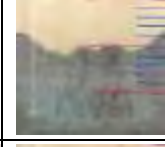
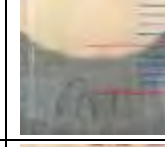

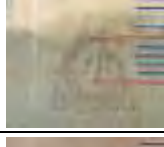

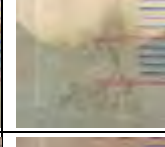
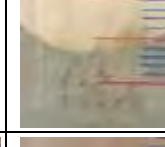






(二)、實驗方式及結果：

1. 不同海沙噴發效果分析

沙子分析：我們蒐集了四種不同的海沙：「苗栗沙、宜蘭沙、墾丁沙、黃金流沙」







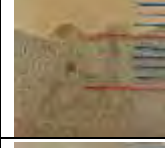








	苗栗沙(沙岸堤防)	宜蘭沙(沙岸)	墾丁沙(沙岸堤防)	黃金流沙(水族館購)
放大照片				
顆粒大小	0.05mm ²	0.09mm ²	0.03mm ²	0.16mm²
顆粒外觀	黑黃白色不規則顆粒	扁長形顆粒(頁岩)	黑白黃小圓形顆粒	白黃黑不規則顆粒
樣本重量	31.2g	29.6g(最輕)	31.3g	32.7g(最重)

剖面觀察裝置效果：

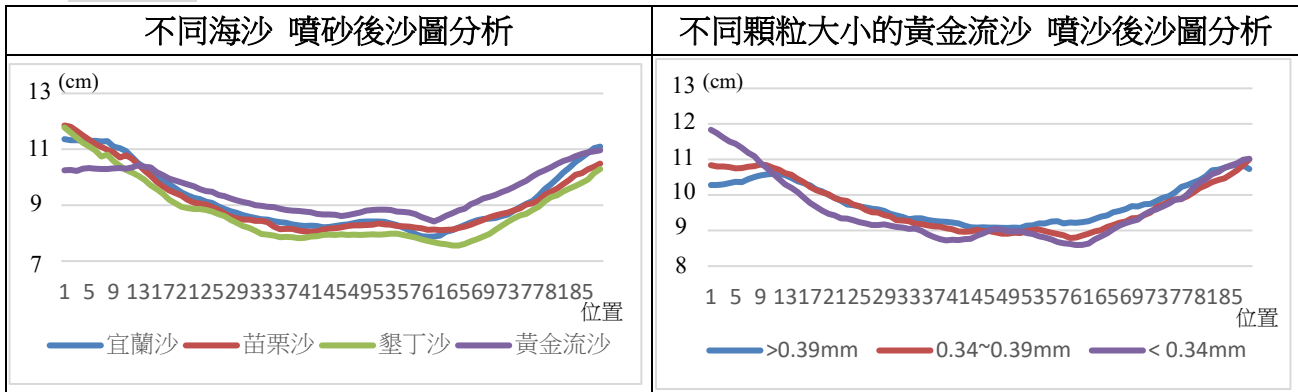
	重量	噴出時間	25cm ↑次數	全關(0/4)	開 1(1/4)	開 2(2/4)	開 3(3/4)	開 4(4/4)
苗栗沙	1851g	5 秒	18 次					
宜蘭沙	1819g (最輕)	2 秒	6 次					
墾丁沙	1837g	1 秒	38 次					
黃金流沙	1940g (最重)	7 秒	1 次					

2. 相同海沙不同顆粒大小的分析

我們選擇了在剖面裝置噴發過程中較為穩定的「黃金流沙」進行顆粒大小的對噴發效果的比較。並購買不同孔徑大小的篩網(0.34mm、0.39mm) 將沙子篩出不同顆粒大小進行比較

顆粒直徑大小	重量	噴出時間	25cm ↑	全關(0/4)	開 1(1/4)	開 2(2/4)	開 3(3/4)	開 4(4/4)
< 0.34mm	1918g (最輕)	2 秒	20 次					
0.34~0.39 mm	1929g	4 秒	1 次					
>0.39mm	1936g (最重)	8 秒	0 次					

3. 沙圖分析



(三)、研究結果：

- 不同海沙效果的研究中，我們發現：
 - 黃金流沙重量最重、顆粒最大、炸開噴沙次數最少，流體化的效果最「穩定」！甚至，當氣流減弱時，剖面觀察裝置內的氣柱最為平均(高度、寬度皆一定)。
 - 墾丁沙又輕又小，炸開噴沙次數多，沙圖凹陷較多。即使開了3個氣閥仍能出現沙泡。
- 以相同沙子篩出不同顆粒大小，當顆粒越大的沙子，開始的反應時間較多，但炸開噴沙次數較小，相對於顆粒小的穩定。我們推測是水管孔徑與噴發物顆粒大小之間的影響。

柒、討論

一、自製流體化床與網路影片效果比較

我們以自製的水管與氣泡石流體化床，與網路影片的流體化床進行分析比較，表格如下。









我們發現自製的流體化床更安全、效果更佳！

	網路影片水管流體化床	自製	
		水管流體化床	氣泡石流體化床
噴氣製作方式	切割水管 (易取得) 勝	切割水管 (易取得) 勝	氣泡石 (需購買或加工)
供氣來源	高壓氮氣瓶、空壓機 (危險、不易取得)	電動鼓風機 勝 (安全、便宜、易取得、學生能操作)	
沙子來源	玻璃沙 (不黏手，不安全) 長石沙 (需購買)	海邊海沙 (較黏手、不需花錢) 黃金流沙 (需購買)	
水管鑽洞孔徑	1mm (沙子直徑要很小，不然會被沙子塞住)	2mm (可適用於海邊取得的海沙，不會塞住孔洞)	不需鑽孔！ 勝 (氣泡石佈滿天然細小孔隙，沙子不會掉落孔洞，也不會塞住孔洞。孔洞數量極多，可造成更多的沙泡數量。)
水管鑽洞角度	45、135度 (可防沙掉入孔洞，但沙泡數少)	0、180度 (沙子不易掉入孔洞，沙泡數多)	
水管鑽洞間距	25mm (孔洞間格大，不會合成大氣室，但孔洞數少)	20mm (孔洞數最多，又不會合成大氣室的間距)	
沙泡數量	較少 (從影片估算收納箱有16.6個沙泡)	次多 (長48cm 寬32cm 箱子有21.4個沙泡)	最多 (直徑12cm的圓形有15.2個沙泡) 勝

二、流體化床特色分析與應用

經過長期研究流體化床，並實驗進行驗證，我們歸納流體化床擁有以下特色：**1.流體化**；**2.減少摩擦力**；**3.改變沙體密度**；**4.固液體轉換**，並推想這些特色可以產生什麼應用。

1. **流體化**：流體化床將固態性質的沙堆變成流態性質，但**能達到哪些液體的性質呢？**我們將實驗測試時的效果整理成以下的表格分析，**能夠成功達成的打○，無法達成的打×**：

			
浮體漂浮 (○) 桌球能漂浮，下壓至沙底，也會自動浮起	沉體沉沒 (○) 鉛球丟入會沉到沙底，無法浮起來。	混合溶液 (○) 黑色沙和黃色沙能夠在噴氣後均勻混合。	水花濺起 (○) 彈珠掉入後會產生水花濺起，但沒有漣漪
			
水阻力 (○) 板子撥沙有阻力感和波浪，但波浪無法維持。	保持水平面 (○) 原本沙面起伏不定，開啟噴氣沙面會平整	馬達打水 (×) 馬達無法打水，玩具船在沙中無法前進。	產生漩渦 (×) 在沙底放置馬達，無法以扇葉產生漩渦。

●「**流體化**」特色的應用：(1) **將跳遠比賽用的沙坑恢復平整**，消除前一位比賽選手的腳印；(2) 製作小型流體化床沙坑給小朋友玩沙；(3) 兩種密度類似的固體顆粒能均勻混合。

2. **減少摩擦力**：根據「實驗六：沙量高度對噴沙效果影響」，我們發現**流體化床能有效減少旋轉摩擦力（陀螺轉動從 4.3→32.2 秒）和拉動摩擦力（拉動彈簧秤從 58.0→1.7 克）！**除此之外，過程中還意外發現一個特別現象「**靜沙**」（沙量高度高，氣閥開多時，會導致沙面沒有出現任何沙泡）！靜沙狀態下，**沙中仍含有大量空氣**（將物品放在沙面，就會看到空氣從接觸面跑出，產生小噴沙），**能夠幫助減少摩擦力**。同時，因為表面沒有任何沙泡，旋轉時不會受到沙泡干擾，轉動效果更好！旋轉摩擦力更小。「靜沙」可製造出表面沒有任何動靜，但物品在上面隨便施力就會旋轉很久的效果！很適合拿來做魔術的表演！

●「**減少摩擦力**」特色的應用：(1) 漁船拖到岸上十分費力。但，若**在沙灘拖行路徑上架設流體化床，會減少拉動摩擦力**，不需要費力（也可用在沙漠中移動物品）。(2) 減少旋轉摩擦力可應用在遊樂設施上，**將旋轉咖啡杯架設在流體化床上**，只要小小施力，可以轉動很久。

3. **改變沙體密度**：流體化床能讓沙子像液體，導致沈體下沉，浮體漂浮。我們推想**流體化床**

中的沙子也許能像液體一樣有密度，於是測量與計算出流體化床中沙體的密度（見「伍、實驗裝置設計—沙體密度」）。並由實驗發現沙子流體化後的密度會比水大(大約介於 1.14~1.55 之間)。如此一來，我們就可藉由操作變因來改變沙體密度！例如實驗二的測試，我們透過氣閥改變氣流大小，就能調整沙體密度(1.14~1.32)。液體密度通常要改變液體組成成分才能調整。但流體化床只要改變氣流大小，就能改變沙體密度，調整漂浮物品的高度！

4. **固液體轉換**：我們能由開關氣流，讓流體化床中的沙子輕易進行固態和液態性質轉換！例如：開啟噴氣後，乒乓球能輕易壓入流體化床底部，但，關掉噴氣後，乒乓球就會被埋在沙底不動。若噴氣再度打開，乒乓球就會自己從沙底浮上來。

●「固液體轉換」特色的應用：(1) 宜蘭會以沙地種植花生，若能在底下架水管流體化床，採收花生時只要打開噴氣，不需要挖沙就能採收。採收的花生也不會因為挖拔而斷掉。

(2) 製作成動物安全的捕捉陷阱！透過流體化床裝置，讓動物安全陷落或卡在沙體中。當動物卡住後，較容易對牠進行標記、注射或調查，動物不會因為掙扎而受傷。

捌、結論

一、流體化運用在沙箱之發現：

1. 流體化是藉由流體讓固體顆粒出現流體性質。當沙中噴氣，沙粒變得懸浮鬆散，容易隨著噴氣流動。將流體化運用在沙箱上，會做出表面產生沙泡、沉體沒入的效果。
2. 藉由剖面觀察裝置，我們觀察到沙子被氣流影響而噴沙的歷程：
下方出現氣室→出現氣柱往上衝→沙面出現半球形沙泡→產生炸開噴沙。
3. 我們察覺「表面產生越多沙泡」，沙箱的流體化效果會越好！因為噴氣會越均勻。
4. 水管孔洞間距或角度相近，會導致兩個孔洞的氣室合併變成大氣室，無法增加沙泡數量。只有增加隔層且下方留氣室，藉由均勻噴氣，才能增加沙泡數量。
5. 隔層要使用硬、不會變形又能透氣的材質，例如：透氣陶瓷（或金剛砂）氣泡石。
6. 我們找到新的流體化床沙箱製作方式：使用透氣陶瓷氣泡石當隔層，下方留氣室。隔層流體化床的流體化效果優於水管流體化床。
7. 「靜沙」：氣閥開過多時，沙面沒有噴沙，但沙中仍充滿空氣。放置重物在沙面上，接觸面會產生小噴沙。靜沙狀態能夠產生最小的旋轉摩擦力。
8. 「膨沙」：當噴氣後，沙量高度會增高。可證明流體化床的沙子含有大量空氣。

二、自製流體化床沙箱之建議：

噴氣裝置：建議使用**電動鼓風機**，因為安全、風力夠大且價錢合理。電動鼓風機只要加裝1吋水桶接頭，便能連接PVC水管。再加裝多個**止氣閥**，可控制氣流大小。

水管流體化床：4分水管連接成排狀，建議**鑽孔孔徑2mm、間距2cm、雙孔鑽0、180度**。

隔層流體化床：以**單層透氣陶瓷氣泡石**作為隔層效果最佳。圓餅形金剛砂氣泡石效果其次，但需將下層敲破，只留上層。隔層黏貼圓筒時，**下方需留4cm氣室**。

三、影響流體化床噴發效果的變因：

1.影響流體化床沙箱變因的整理：

小	←	水管孔洞孔徑	→	大	朝下	←	水管孔洞方向	→	朝側
朝側	←	水管孔洞方向	→	朝下	太密、太鬆	←	水管孔洞間距	→	適中
鬆	←	水管孔洞間距	→	密	高	←	沙量高度	→	低
多	←	氣閥打開數量	→	少	大	←	隔層孔洞大小	→	小
高	←	下方氣室高度	→	低	不均勻	←	噴氣均勻度	→	均勻
大	←	沙子顆粒大小	→	小					
小	←	噴沙效果	→	大	少	←	沙泡數量	→	多

小	←	氣流大小	→	大	大	←	氣流大小	→	小
高	←	沙量高度	→	低	適中	←	沙量高度	→	太低、太高
小	←	旋轉摩擦力	→	大	少	←	拉動摩擦力	→	多

2.可藉由調整氣流大小，改變下列效果：

小	←	氣流大小	→	大	小	←	氣流大小	→	大
低	←	噴沙高度	→	高	慢	←	重物沈沒時間	→	快
小	←	影響面積	→	大	大	←	沙體密度	→	小
慢	←	衝出沙面時間	→	快	小	←	旋轉、拉動摩擦力	→	大

四、流體化床的特色分析與應用：

我們將流體化床歸納出以下特色：**流體化、減少摩擦力、改變沙體密度、固液體轉換**

1. 流體化：能**讓固體的沙產生液體的性質**，出現似水的流動、浮力、水花、水平面。
2. 減少摩擦力：能**有效減少旋轉摩擦力和拉動摩擦力**，適合改善沙地上物品的移動。
3. 改變沙體密度：透過**改變氣流大小能改變沙體密度**，調整物品漂浮的高度。
4. 固液體轉換：**噴氣開關可立刻轉換固液體性質**，可迅速將物品埋入沙中或取出。

玖、心得

這次的科展，讓我們收穫滿滿，從一開始毫無方向到現在終於有成果，回想起來真是很辛苦。開始接觸科展，其實很期待也很緊張。才剛開始幾堂課，我們就已經知道科展不是一件很容易的事情。實驗時要擴大聲音來抵抗鼓風機的噪音，一不小心還會被沙子噴得滿臉都是。幫氣泡石打洞要注意力道，過程中常要一直重複做著枯燥乏味無聊的實驗，稍微疏忽就會造成實驗重作的下場，最後得處理複雜的數據和清理像人造沙灘的教室。雖然，累了常會互相搞笑一下，但，每次回家都精疲力盡啊！

這段歷程雖然很累，但其實做完實驗後都會很有成就感。過程中會突然出現令人驚訝的效果，當陀螺轉的超久或箱子出現沸騰般的小泡泡時，我們就會覺得之前的辛苦都值得了，做科展真是一件快樂的事。在科展的磨練下，我們學會了如何使用各種工具剪水管、鑽孔；如何溝通說明目前在做什麼；如何寫一份完整的報告；如何決定實驗的先後次序、因果關係，也學會了時間規畫和安排技巧，彷彿我們更新了自己的頭腦，增強了能力，這些都是之前沒有預料到的。

最後，我們很謝謝指導我們的老師和支持我們的爸爸媽媽，還有五金行、水果行、園藝店老闆提供我們材料及建議，更謝謝我們一起做科展的同學，有大家的合作和幫忙，我們才能完成這一次的任務。

拾、參考資料

	參考資料內容	參考資料出處
1	流沙浴缸新聞	超狂「流沙」浴缸 NASA 前工程師揭打造關鍵 (蘋果日報) https://tw.appledaily.com/new/realtime/20171201/1251179/ 。
2	Mark Rober 自製流體化床浴缸影片	Liquid Sand Hot Tub- Fluidized air bed (youtube) https://www.youtube.com/watch?time_continue=50&v=My4RA5I0FKs
3	流體化床原理與效果說明	你是風兒我是沙—流體化床 (科學發展期刊) https://ejournal.stpi.narl.org.tw/sd/download?source=10409-02.pdf&vId=23BE2E23-AAB9-4155-9661-A394DCFE427D&nd=1&ds=1
4	流體化床原理與效果說明	詞條名稱：流體化床 (國家教育研究院辭典) https://pedia.cloud.edu.tw/Entry/Detail/?title=%E6%B5%81%E9%AB%94%E5%8C%96%E5%BA%8A

【評語】 080111

裝滿沙的箱子把氣灌進沙子後，就能讓沙子從固態呈現液態的效果，能與液態特性相比較。研究影響沙箱噴沙的各種變因與水管鑽孔的最佳方式。不同的材質做隔層，觀測液化效果，實驗的設計極有創意。並以沙量高度獲得噴砂效果，並造成水花濺起的效果，都是很好的成果。觀察很多現象，但可強化科學的探究方法，將觀察現象，控制各種變因，加上一些物理原理機制的探討。若能簡單做出驗證，可對流沙應用提出建議。

摘要

我們看到網路影片，一位工程師製作了流體化床浴缸，人埋在沙中玩沙像玩水一樣！影片中透過空氣就能產生固液態轉換的模式引起我們的興趣，讓我們想自己製作流體化床沙箱。首先我們以電動鼓風機替代影片中的高壓氮氣瓶，並找到連接電動鼓風機和PVC水管的方法，製作出水管流體化床沙箱，並研究影響沙箱噴沙的各種變因與水管鑽孔的最佳方式。

我們察覺「表面產生越多沙泡」，流體化效果越好！也研發出流體化效果更佳的製作方法「氣泡石流體化床」，也就是利用透氣陶瓷氣泡石當作隔層，下方保留氣室，讓空氣切割更細、噴氣更均勻。同時歸納出流體化床四種特色：流體化、減少摩擦力、改變沙體密度、固液體轉換，根據特色想出許多應用於生活中的點子。

壹、研究動機

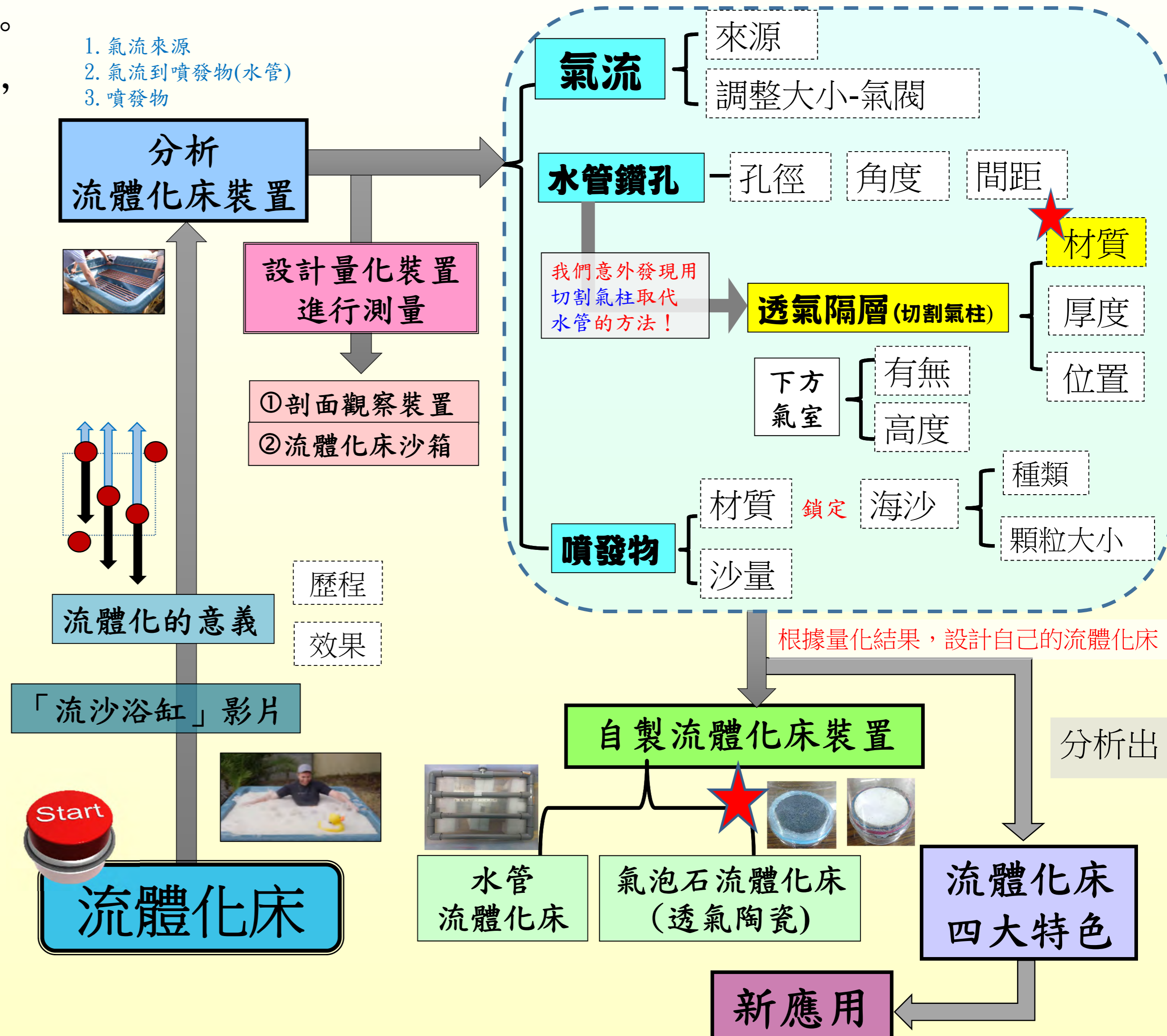
有一天，老師在課堂播放了一個很酷影片。影片中有一個裝滿沙的箱子，把氣灌進去沙子後，就能讓沙子從固態呈現出液體的效果。

三年級自然課「水的變化」提過三態變化是透過溫度進行固液態的轉變。但影片中的「流體化床」，是透過氣體使固態沙變成液態。我們對這個裝置十分好奇，想進一步瞭解流體化床製成沙箱的效果，研究影響變因、歸納特性，並嘗試應用在生活中。

貳、研究目的

- 一、分析流體化運用在沙箱的效果。
- 二、研究影響流體化床噴發效果之變因。
- 三、研發自製流體化床沙箱的方法。
- 四、歸納流體化床的特色與應用。

參、研究流程概念圖



肆、研究裝置

一、剖面觀察裝置：觀察空氣在沙子中的歷程

觀察箱部分 以木板、U型水管、透明壓克力箱製作

利用泡棉、冰棒棍卡住擋板

噴發物定量及噴發觀察空間

配合變因能更換水管

沙圖及記錄

打光繪沙圖 以軟體轉換沙圖

手機攝影 剖面觀察箱

二、沙箱裝置：測試大型裝置效果

沙箱部分 以4分管、收納箱製作

排狀水管，由中間供氣 電鑽鑽洞改變變因

沙箱檢測 進行各種沙箱效果檢測 (沙泡高度、面積、摩擦力、密度...)

拍照沙泡高度 計算影響面積 旋轉摩擦力 拉動摩擦力 沙體密度

沙箱裝置

排狀水管

動力來源與調整

止氣閥

利用電動鼓風機、止氣閥來調整和控制氣流

伍、研究過程及結果

一、氣流的來源、大小與調整：

研究原因：我們尋找安全且能調整氣流的器材進行測試。

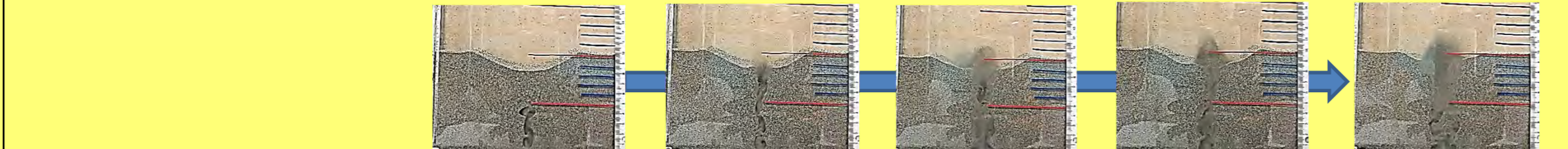
研究方法：1.比較各種噴氣裝置的效果。
2.由剖面觀察及沙箱裝置，觀察氣閥的效果。

實驗結果：1.噴氣裝置比較：以氣流穩定的電動鼓風機為主

	手壓鼓風機	氣球打氣機	魚缸打氣機	空壓機	電動鼓風機
照片					
效果	力不穩氣泡少	機器容易過熱	氣不夠大	不安全	氣流充足穩定

2. 氣閥數量的影響-剖面觀察裝置

●氣體(小→大)在沙中：從氣室→氣柱→半球型沙泡→炸開噴沙

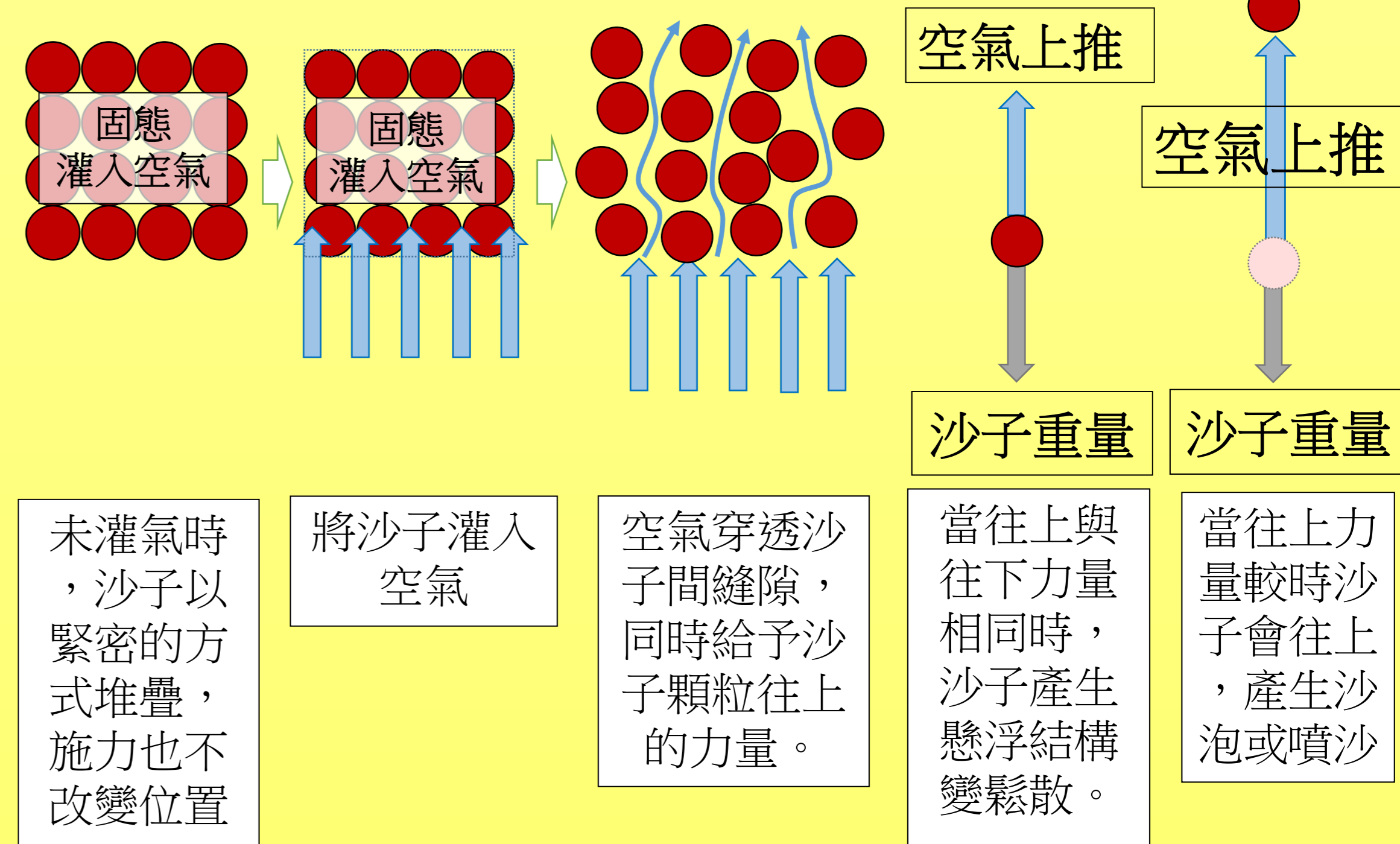


3. 氣閥數量的影響-沙箱裝置

氣閥	全關 (0/6)	開1 (1/6)	開2 (2/6)	開3 (3/6)	開4 (4/6)
噴沙效果					
噴沙高度		5.2 cm	2.7 cm	2.2 cm	1.6 cm
旋轉摩擦力		5.1秒	7.7秒	10.2秒	12.1秒
沙體密度		1.14 g/cm ³	1.17 g/cm ³	1.20 g/cm ³	1.32 g/cm ³

●什麼是流體化呢？

藉由流體讓固體顆粒出現流體性質的狀態，如下圖：沙子往上移動



4. 我們意外發現：

●氣閥能影響氣流，改變沙體的密度與沙面摩擦力。

●氣閥開5，沙面沒動靜，若放重物，接觸沙面的地方會噴沙(如右圖)，表示沙裡有大量空氣等待衝出。我們把沙面沒動靜，但內部有大量空氣的狀態命名「靜沙」！

二、水管鑽孔的影響：

研究原因：確認了氣流來源及調整方式後，我們進一步研究流體化床底部排狀水管鑽孔狀態的影響。

研究方法及結果：我們將水管鑽孔的影響分成三個部分進行測試：①鑽孔的孔洞大小、②孔洞的角度、③孔洞的間距。

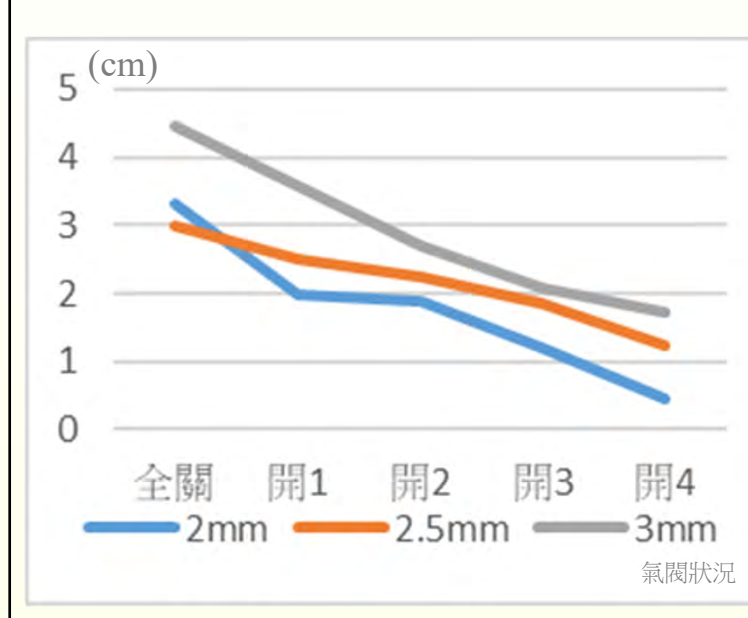
(一)水管鑽孔大小

研究方法：我們用不同的鑽頭，鑽出4種不同孔徑大小的水管(分別為1.5mm、2mm、2.5mm、3mm)，放入剖面裝置中觀察。

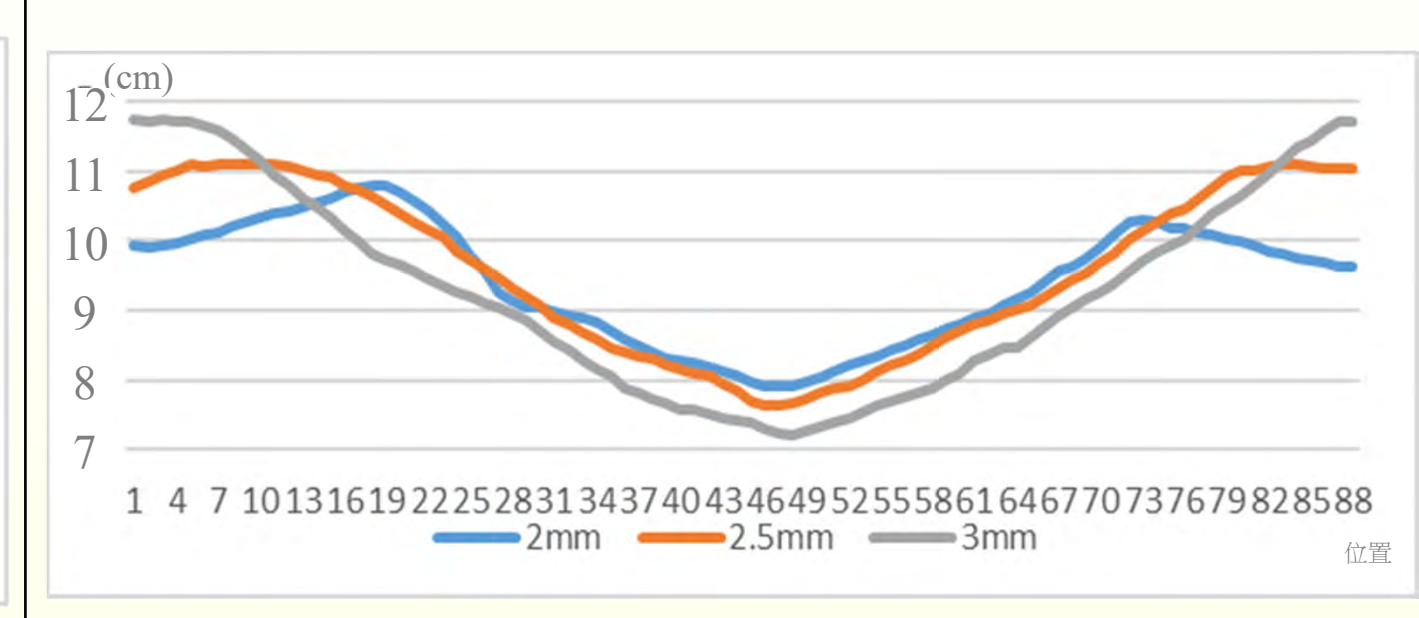
研究結果：1.剖面裝置測試結果(備註：1.5mm孔徑無任何反應)

孔徑	衝出沙面	大噴發	氣閥全關 (0/4)	氣閥開1 (1/4)	氣閥開2 (2/4)	氣閥開3 (3/4)	氣閥開4 (4/4)
2mm	8秒	0次					
2.5mm	2秒	32次					
3mm	2秒	36次					

氣室寬度折線圖：



沙圖折線圖：



研究結果：

孔徑太小(1.5mm)無法噴氣，但孔徑太大(3mm)噴出來的氣太大(炸開噴沙)，無法出現半球型沙泡。因此以**2mm為最佳孔徑**。

(二)孔洞角度

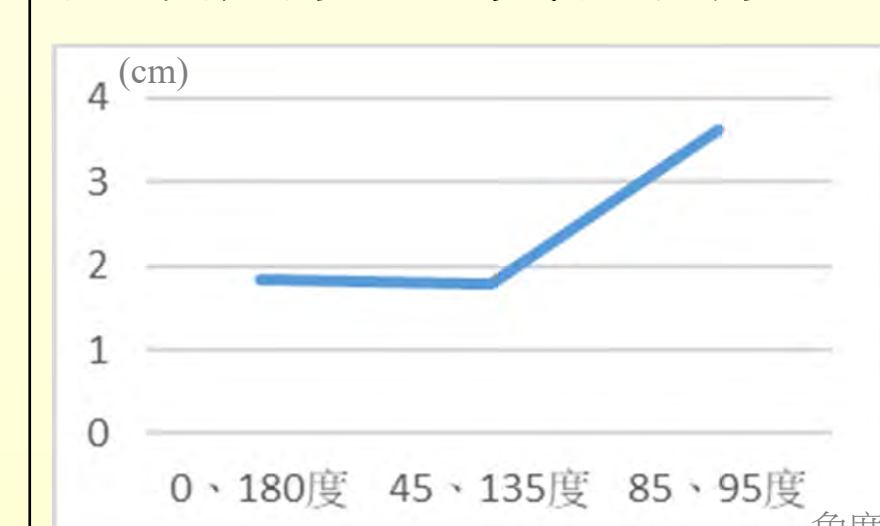
研究方法：我們將水管孔洞角度區分成雙孔的三種(180+0度、45+135度、85+95度)，放入剖面裝置及沙箱中觀察。

實驗記錄：1.剖面觀察裝置：

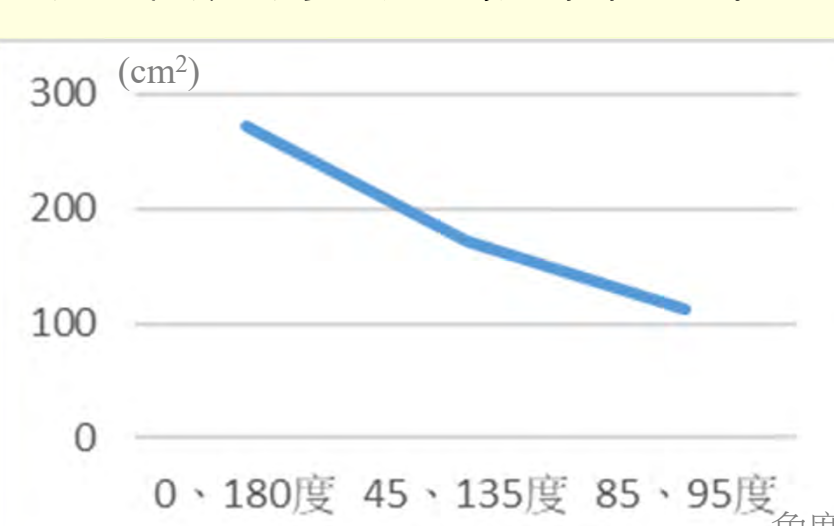
孔洞角度	0、180度 (←→)	45、135度 (↙↘)	85、95度 (↓↑)
照片			
氣室寬	1.22 cm	1.81 cm	3.99 cm

3.沙箱效果折線圖分析：

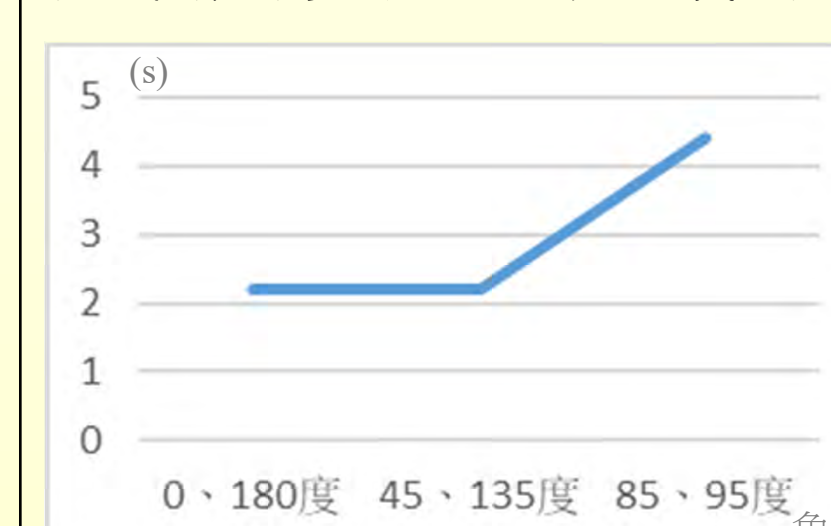
孔洞角度與噴沙高度



孔洞角度與影響面積



孔洞角度與出現時間



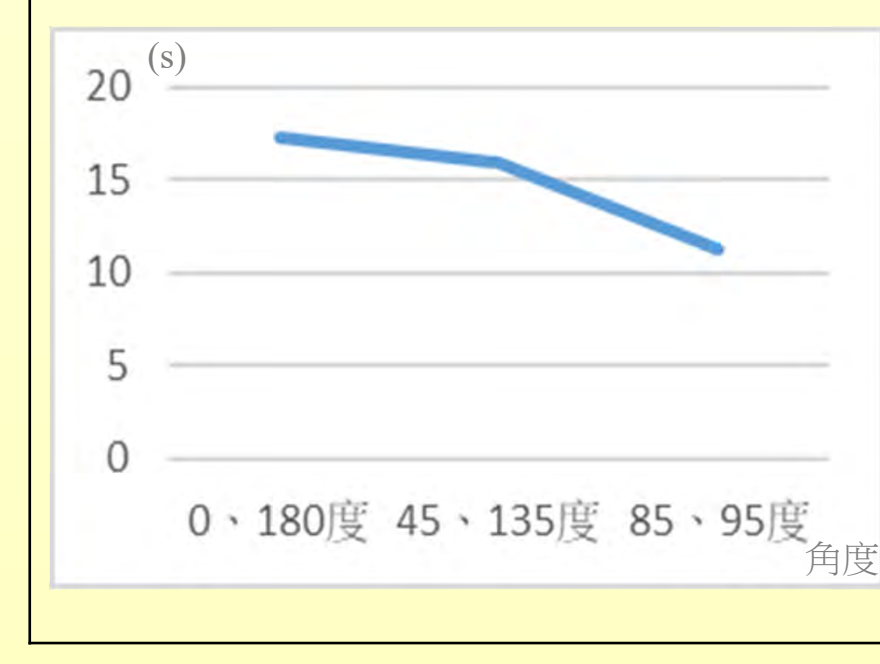
研究結果：

1.在**0、180度**孔洞角度中，旋轉摩擦力最小、沉沒時間長，且**能形成更多小沙泡**，影響範圍也更大。
2.我們發現「**表面產生越多沙泡**」，沙箱的流體化效果會越好！

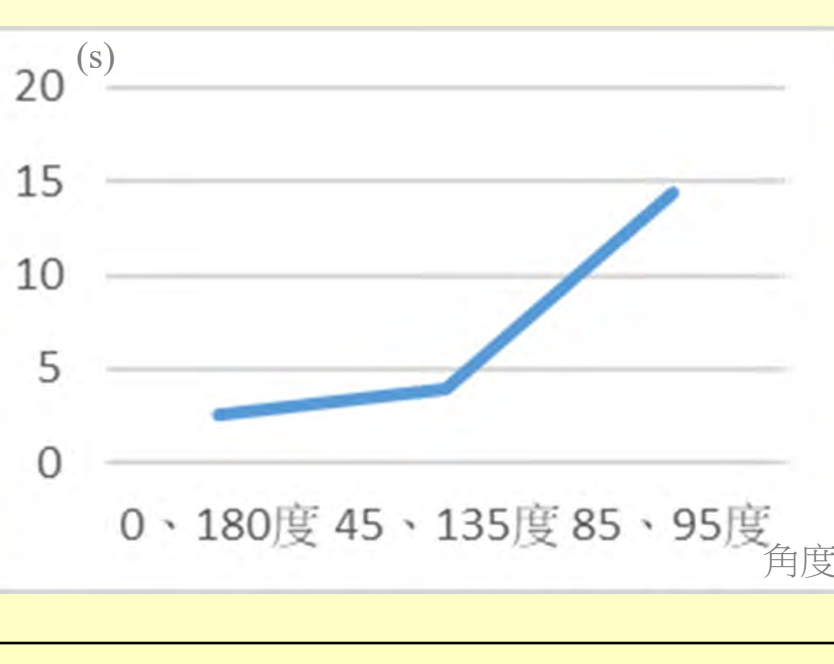
2.沙箱裝置效果：

孔洞角度方向	0、180度 (←→)	45、135度 (↙↘)	85、95度 (↓↑)
角度方向			
噴沙高度(cm)	1.8	1.7	3.6
影響面積(cm²)	272.0	171.8	112.2
出現時間(s)	2.2	2.2	4.4
旋轉摩擦力(s)	17.3	15.9	11.3
重物沈沒時間(s)	2.6	4.0	14.4
沙體密度(g/cm³)	1.32	1.43	1.55

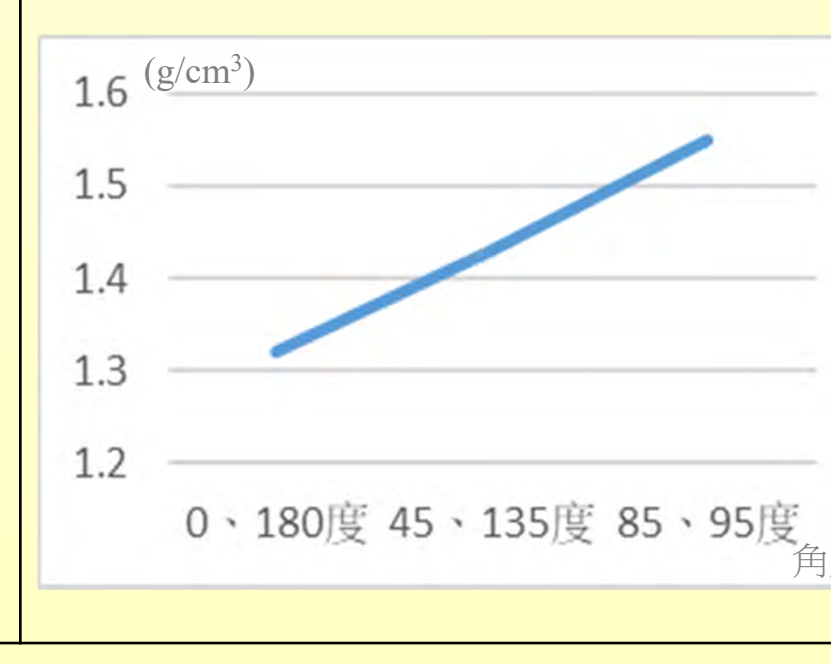
孔洞角度與旋轉摩擦力



孔洞角度與沉沒時間



孔洞角度與沙體密度



(三)孔洞間距

研究方法：我們將相同長度水管以不同間距進行鑽洞(1公分、2公分、3公分)，放入剖面裝置及沙箱中觀察。

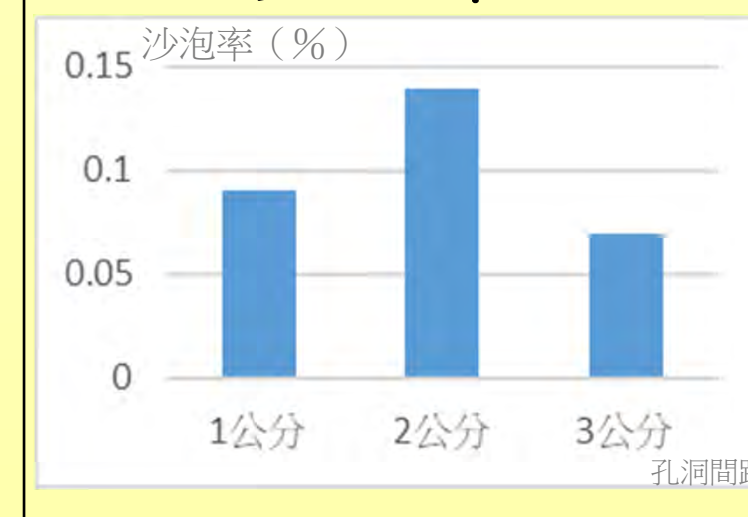
實驗記錄：1.剖面觀察裝置：

間距	孔洞數	大噴發	氣閥全關 (0/4)	氣閥開1 (1/4)	氣閥開2 (2/4)	氣閥開3 (3/4)	氣閥開4 (4/4)
1cm	9	全炸開					
2cm	5	100次					
3cm	3	30次					

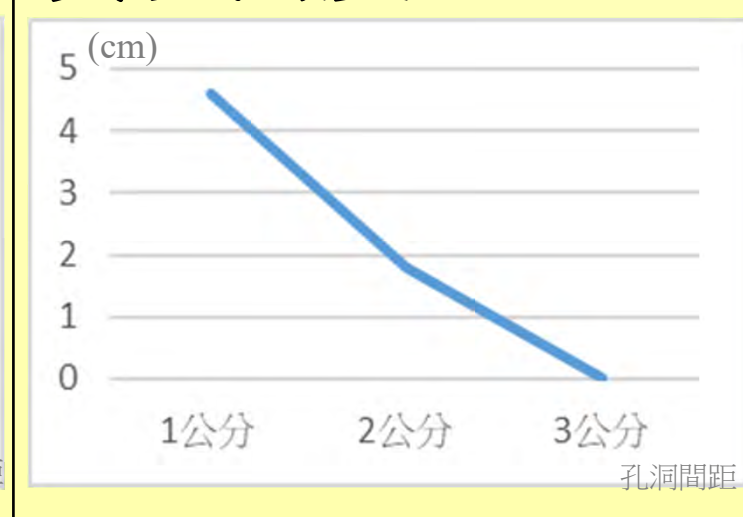
2.沙箱裝置：(備註「產生沙泡率=沙泡數量/鑽孔數量」)

孔洞間距	1公分	2公分	3公分
鑽孔數量(個)	182	91	60
沙泡數(個)	16.5	13.4	4.25
產生沙泡率	0.09	0.14	0.07
噴沙高(cm)	4.6	1.8	過低
影響面積(cm²)	460.8	239.0	247.4
旋轉摩擦力(s)	10.9	13.8	17.5
重物沈沒時間(s)	1.4	2.5	21.7
沙體密度(g/cm³)	1.32	1.43	1.35

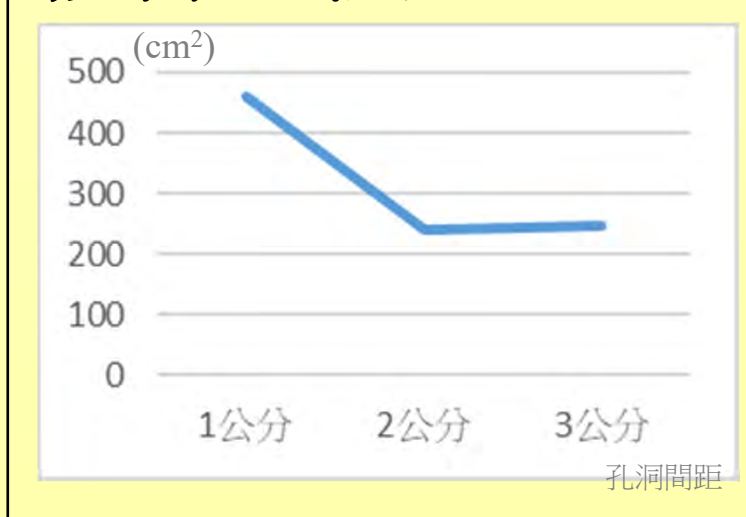
產生沙泡率



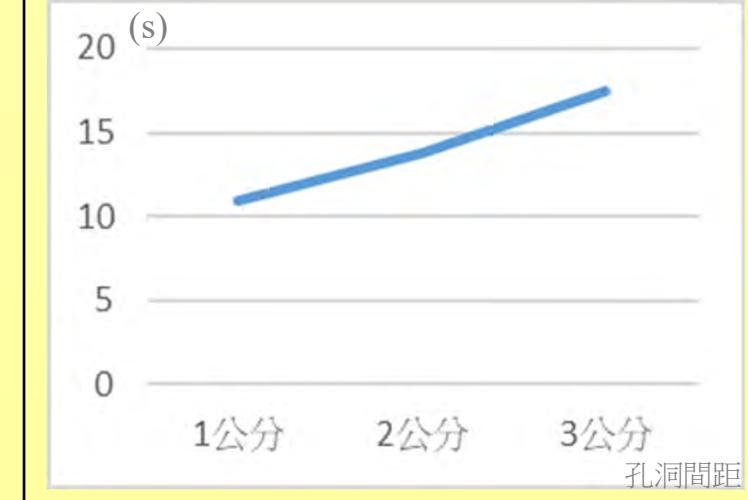
噴沙高度



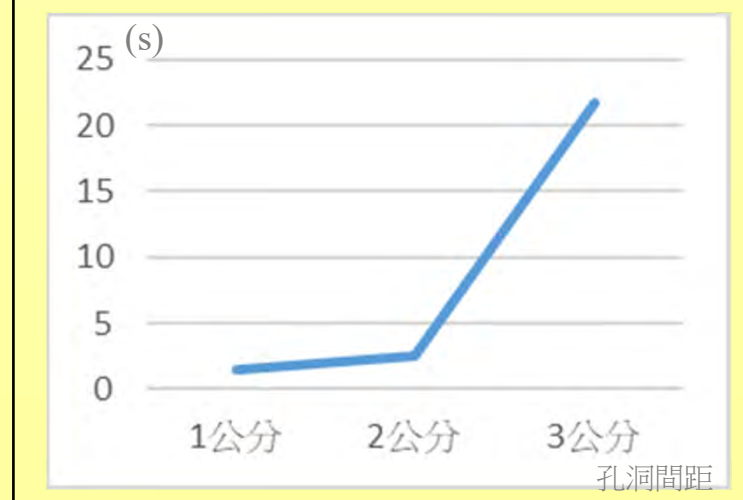
影響面積



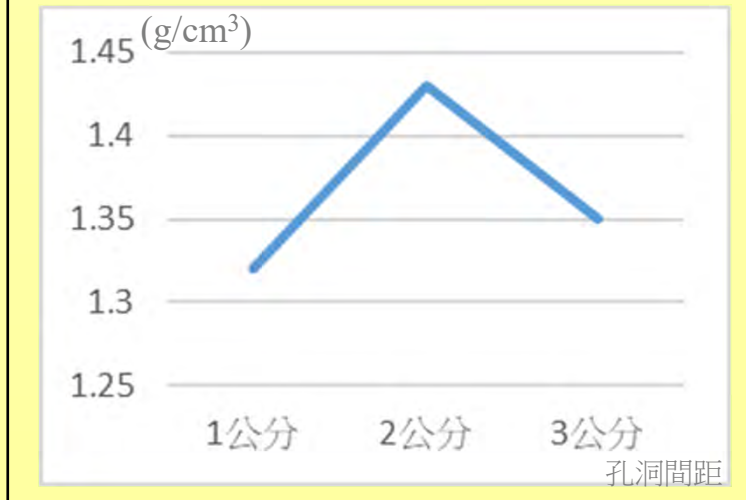
旋轉摩擦力



沉沒時間



沙體密度



●水管孔洞間距越小，氣室合成大氣室越嚴重，呈現大爆發！

研究結果：

- 孔洞間距增加時，鑽孔的數量也增加，但無法增加半球形沙泡的數量。且間距**2cm**產生的沙泡率(沙泡數/鑽孔數)最佳。
- 孔洞間距越密，產生的炸開噴沙效果越嚴重！**改變孔洞間距比改變氣閥數量，更能夠影響噴氣的效果與高度！**

三、沙量高度對噴沙效果的影響

研究方法：我們利用大型沙箱探討沙子高度對流體化效果的影響(以旋轉和拉動摩擦力的研究為主)。



實驗記錄：1.沙量高度對沙箱的量化測試：(氣閥開3)

沙泡數量	旋轉摩擦力	拉動摩擦力

2.不同氣閥數與不同沙量高度在摩擦力上的影響：

旋轉摩擦力	拉動摩擦力

研究結果：

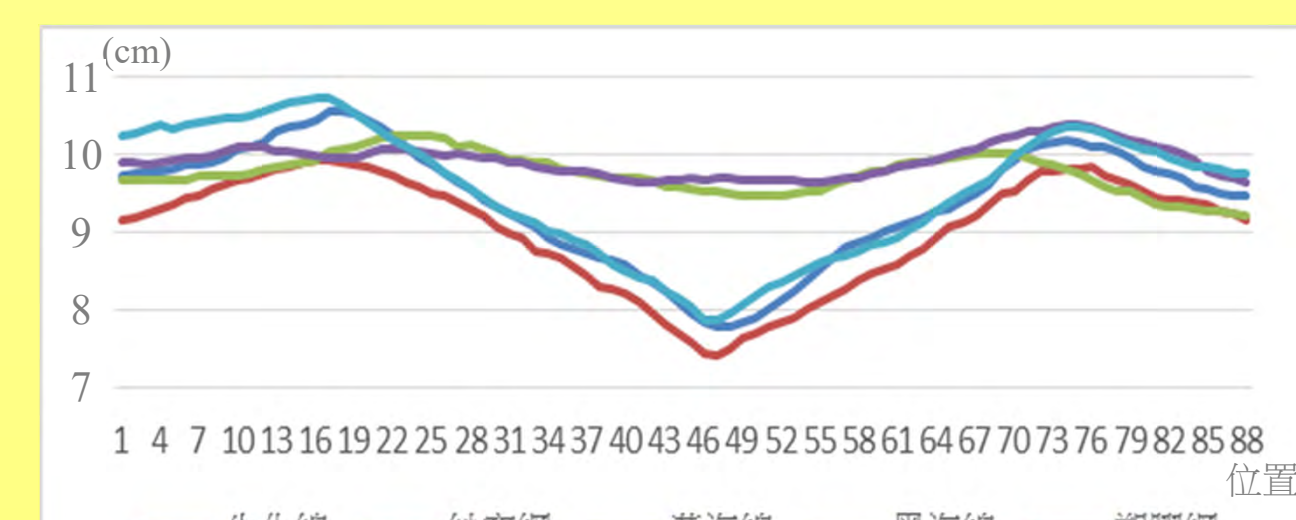
- 沙的**高度越高**：
 - 半球形沙泡**越少**，甚至「靜沙」狀態。
 - 旋轉摩擦力和拉動摩擦力皆**變小**。
- 氣閥開過多或沙量過高，旋轉和拉動摩擦力反而會增加
- 在「靜沙」狀態，因沒有沙泡干擾，旋轉摩擦力**更小**！

四、切割氣柱效果-不同材質與氣室有無！

研究原因及方法：一旦形成大氣室，就會形成炸開噴沙。若加上隔層來切割氣柱會如何？我們挑了幾種材質放入剖面裝置中進行觀察並進一步進行下方氣室有無的研究。

實驗及結果：1.不同材質在剖面裝置中的噴發效果及沙圖分析：

材質/孔徑	材質放大	氣閥全關	氣閥開1	氣閥開2	氣閥開3	氣閥開4
塑膠網 0.041cm²						
紗窗 0.030cm²						
生化棉 0.048cm²						
黃泡棉 0.008cm²						
黑泡棉 0.025cm²						



●黑海綿與黃海綿當隔層時，沙面沒有嚴重凹陷。主要是它們的孔洞小且為立體結構，能有效阻擋空氣直接噴出及上方沙子往下流失

2.下方氣室高度的影響：

(1)剖面觀察

沙量	1cm	3cm	5cm
下方氣室 4cm			
下方氣室 10cm			
下方氣室 15cm			

●有保留氣室時，表面的沙子能均勻噴出(無氣室左右側皆無噴發)
●氣室越大，氣流道會越弱。
●影響噴發高度的關鍵是沙量不是氣室

(2)大型沙箱放入黑海綿效果：

10cm沙高	噴沙高度(cm)	沙泡數量(個)	轉動摩擦力(s)	拉動摩擦力(g)
原始(無氣室,海綿)	1.8	21.4	12.4	2.3
有海綿+氣室	13.0	3.3	4.3	46.6

●沙箱放入海綿效果差，我們推測黑海綿太軟易變形，中央海綿受力大而凹陷，以至於邊緣沙量減少，氣流就會優先從邊緣衝出來！

五、自製氣泡石流體化床

研究方法：隔層及氣室能有效分割空氣，但黑海綿太軟容易變形，因此我們用水族賣場的氣泡石當隔層進行測試。

實驗記錄：

(1) 氣泡石流體化床製作過程 我們試著利用氣泡石做為切割氣柱的隔層，並依效果不斷進行修正測試！

「圓餅形氣泡石」	「圓餅氣泡石」挖洞測試	以透氣陶瓷作隔層	用透氣陶瓷鋪成大沙箱
以水管或直接灌入氣體 皆無反應！	氣泡石挖洞， 能噴氣但不均勻	打掉氣泡石一面，預留4cm 氣室做出具有流體化的裝置	以透氣陶瓷作隔層 層流體化效果佳
			沙泡數量急增，影響面積變大！ 有透氣陶瓷的地方就有沙泡！

(2) 不同隔層流體化床效果的比較：

我們以三種隔層進行檢測，了解效果上的差異

材質	照片	膨沙高	沙泡高	沙泡數	水花高
氣泡石-透氣陶瓷		0.9cm	0.7cm	15.2個	4.4cm
沙泡均勻分布					
氣泡石-金剛砂		0.5cm	1.7cm	8.8個	3.8cm
沙泡均勻分布					
黑海綿		0.0cm	2.9cm	7.0個	無法測
沙泡只出現在邊緣					

(3) 透氣陶瓷效果測試-沙量：

進一步測試沙量對透氣陶瓷的效果

沙量高度	1公分	2公分	3公分	4公分	5公分
噴沙效果					
膨沙高度	0.5cm	0.3cm	0.7cm	0.9cm	1.0cm
沙泡高度	0.3cm	0.3cm	0.5cm	0.7cm	0.9cm
沙泡數量	57.6個	34.0個	14.0個	15.2個	10.0個
水花高度	沙太低無法測	2.1cm	4.4cm	4.5cm	

(4) NEW量化檢測：

① 水花高度 彈珠落下，測濺起沙高

② 膨沙高度 灌入空氣，沙因空氣增加的高度

證明沙子內部含大量空氣

研究結果：

- 我們發現製作流體化床最佳新方法：以透氣陶瓷氣泡石當隔層，下方留氣室。金鋼砂氣泡石為隔層則次佳。
- 透氣陶瓷孔隙多，使氣流均勻分佈：膨沙高度更高、沙泡數量更多、水花高度更高，沙子流體化效果更佳。

六、不同材質噴發物對流體化的影響

研究原因及方法：什麼樣噴發物的噴發效果比較好呢？不同的沙子又有什麼樣的差異？

實驗記錄：1. 不同材質的噴氣效果

材質	沙土類				穀物(大、輕)			晶體(小、輕)	
	原海沙	小岩石	發泡煉石	培養土	小米	小蘇打粉	鹽巴		
放大									
效果照片									
大小 _{mm}	0.00103	0.4027	0.32945	0.00003~0.013	0.0548	0.000009	0.00015		
樣本重	28.1g	9.4g	7.7g	15.3g	17.6g	25.2g	25.8g		
單顆粒	太輕	0.03g	0.042g	太輕	0.007g	太輕	太輕		
噴發	大	小搖晃	小搖晃	X	微小	大(僅小孔)	X		

研究結果：

- 顆粒大小、性質、重量和形狀皆會影響流體化效果
- 意外發現：小米球形，顆粒大，重量輕。因此透氣陶瓷讓空氣平穩上升的能力，簡單分離小米與沙子！

沙子混小米→ 沙子自動往上移動	沙子噴出表面 離開小米	雖然小米沒有噴發， 但，不小心留在小米內的沙子竟然慢慢移到表面，直接和小米分離！

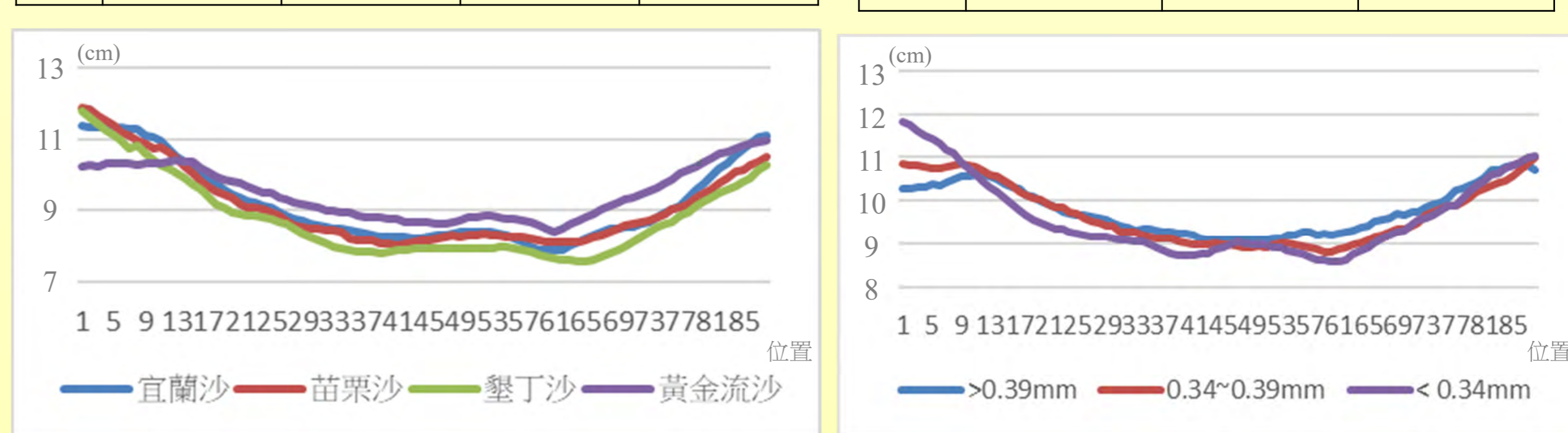
2. 不同沙子的噴氣效果 我們蒐集了不同海砂進行測試

(1) 不同海砂的噴氣效果

	苗栗沙	宜蘭沙	墾丁沙	黃金流沙
照片				
mm ²	0.05	0.09	0.03	0.16
重量	31.2g	29.6g	31.3g	32.7g

(2) 相同海砂不同顆粒的效果

直徑	< 0.34mm	0.34~0.39	> 0.39mm
開3 (3/4)			
重量	1918g	1929g	1936g
25↑	20次	1次	0次



研究結果：

- 不同海砂效果：
 - 黃金流沙重量最重、顆粒最大，流體化的效果最「穩定」
 - 墾丁沙又輕又小，炸開噴沙多，凹陷較多。
- 不同顆粒大小：當沙子顆粒越大，比顆粒小穩定。

② 減少摩擦力

轉動/拉動摩擦力	靜沙效果
應用→沙地移動重物(漁船)	

③ 改變沙體密度

氣流控制沙密度

④ 固液轉換

透過氣體有無進行切換
應用→沙地花生採收

陸、未來研究方向

① 流體化

浮體漂浮	沉體沉沒	混合粉末
水花濺起	水阻力	保持水平
應用→沙地跳遠場地恢復		

我們歸納出流體化床的基本特色，思考其應用及未來研究方向。

流體化床四大特色

流體化床未來研究方向及新應用

目前還在與業界廠商聯繫大片透氣陶瓷的製作，嘗試更大型的沙箱。

大型透氣陶瓷自製沙箱

穀物分離機

能透過均勻氣流的抬升來分離不同重量的東西

柒、結論

一、流體化運用在沙箱之發現：

- 流體化：藉由流體讓固體顆粒出現流體性質。
- 最佳流體化床製作：我們能透過隔層來切割氣柱，使噴氣均勻產生「半球型沙泡數越多」，讓流體化效果越好。
 - 隔層要堅硬不變形又能透氣的材質：透氣陶瓷(或金剛砂)氣泡石
 - 氣柱要夠大，因此隔層下方直接留氣室效果較佳。
 - 噴發物以圓形、小但又不能太輕的顆粒效果較好(海沙較佳)

二、自製流體化床方式

- 氣體控制：電動鼓風機加接頭連PVC水管，再用止氣閥控制氣流
- 水管流體化床：以4分水管連成排狀，以孔徑2mm、間距2cm、雙孔(0、180度)來鑽孔。
- 隔層流體化床：以「單層透氣陶瓷」下方留4公分氣室為最佳。

三、影響流體化床變因研究之結果：

小	水管孔洞孔徑	大	朝下	水管孔洞方向	朝側
朝側	水管孔洞方向	朝下	太密/鬆	水管孔洞間距	適中
鬆	水管孔洞間距	密	高	沙量高度	低
多	氣閥打開數量	少	大	隔層孔洞大小	小
高	下方氣室高度	低	不均勻	噴氣均勻度	均勻
小	噴沙效果		大	少	沙泡數量
小	氣流大小	大	大	氣流大小	小
高	沙量高度	低	適中	沙量高度	太低/高
小	旋轉摩擦力		大	小	拉動摩擦力
小	氣流大小	大	小	氣流大小	大
低	噴沙高度	高	慢	重物沈沒時間	快
小	影響面積	大	大	沙體密度	小
慢	衝出沙面時間	快	小	旋轉、拉動摩擦力	大