

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

第三名

080108

沙瀑我愛羅的流沙忍術

學校名稱：新北市私立裕德實驗高級中學

作者： 小六 林庭妤 小六 楊晴暄 小六 洪邦碩 小六 郭哲聿 小六 陳品嫣 小六 張瑜晏	指導老師： 許森裕
---	------------------

關鍵詞：白努力原理、流化軌跡、沙粒流化

摘要

本研究利用壓克力盒、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找最佳的顆粒流化現象，發現影響顆粒流化有三種主因：

1. 孔洞大小：直徑 2mm，孔與孔之間的距離為 2 公分為最佳，面積越大則孔數越多，孔數=(長/2)+1*(寬/2)+1。
2. 顆粒：必須使用完全乾燥的沙子(顆粒大小為 0.2~0.5mm 之間)或小保麗龍球，顆粒高度 5~25 公分，無法使用綠豆、鹽、糖、麵粉等物品來代替。
3. 氣流強度：氣壓大小需適中，太大會造成顆粒激烈翻騰或噴發，太小顆粒會不動或只微微震動。

最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。

壹、研究動機

有一次在FB上面看到日本科學實驗影片，影片中原本堅硬的沙子突然就變成了像水一樣可以流動，引起了我們的好奇心，想知道是什麼原因造成這種現象。於是展開了這個的研究。想要做出和火影忍者卡通主角我愛羅一樣的超厲害流沙忍術。

★ 與課程相關單元：【五年級力與運動】。



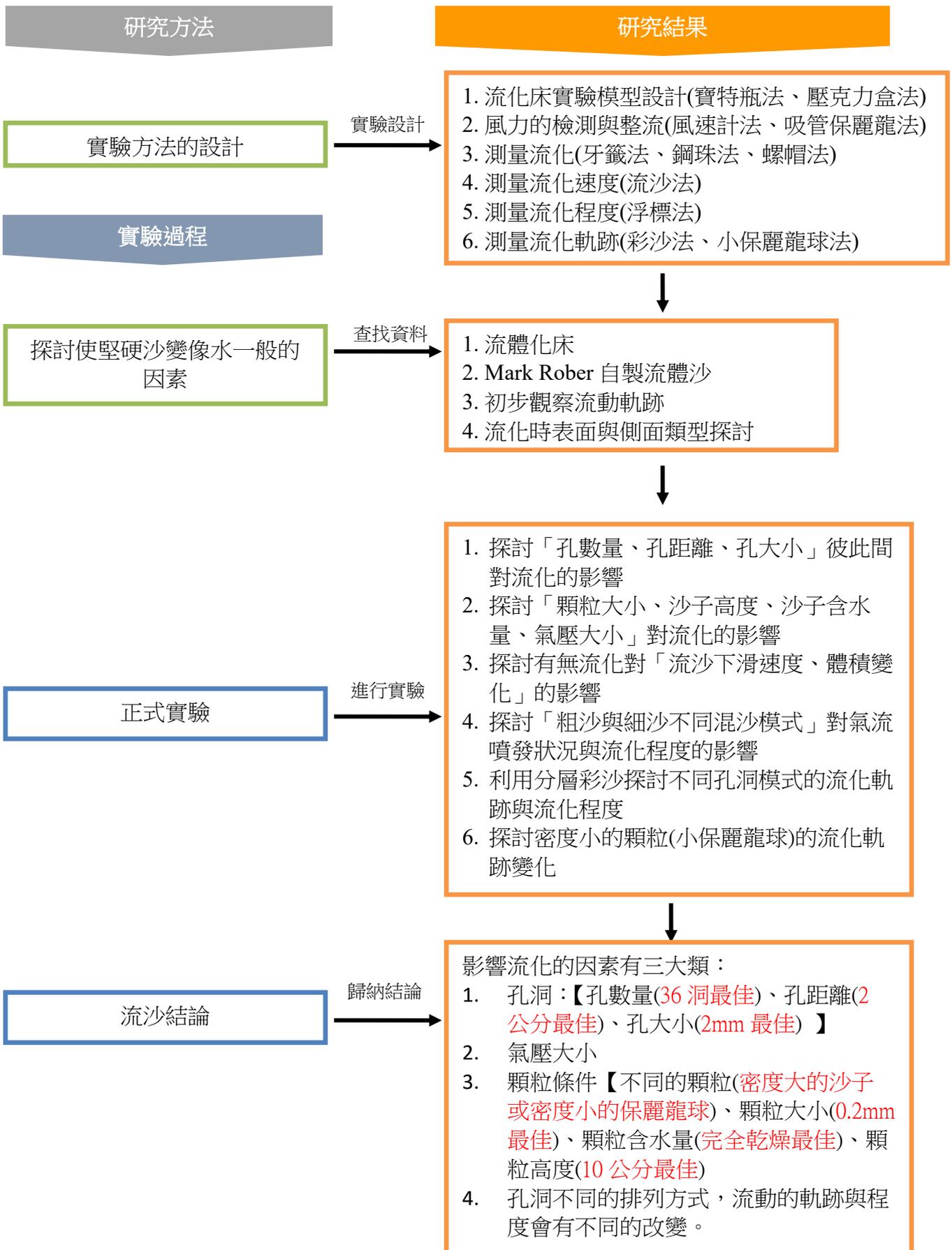
貳、研究目的

- 一、設計流化床**實驗模型**與測量有無流化的方法
- 二、探討流化的原因與現象
- 三、探討「**孔數量、孔距離、孔大小**」彼此間對流化的影響
- 四、探討「**顆粒大小、沙子高度、沙子含水量、氣壓大小**」對流化的影響
- 五、探討有無流化對「**流沙下滑速度、體積變化**」的影響
- 六、探討「**粗沙與細沙不同混沙模式**」對氣流**噴發狀況**與**流化程度**的影響
- 七、利用**分層彩沙**探討**不同孔洞模式**的**流化軌跡**與**流化程度**的變化
- 八、探討**密度小的顆粒(小保麗龍球)**的**流化軌跡**變化

參、研究設備及器材

			
100 多個透明壓克力盒	鋸子、雕刻刀、鐵鎚、熱熔槍、壓力表	電鑽、打氣機、開關閥、水管剪	小保麗龍球與彩沙

研究架構圖



肆、研究過程方法與結果

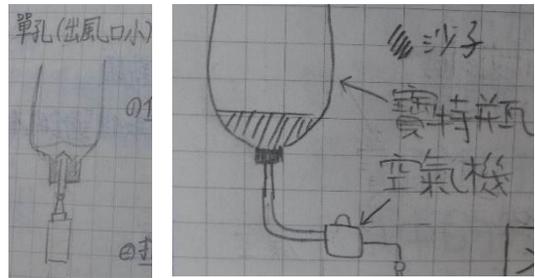
【研究一】：設計流化床實驗模型與測量 有無流化的方法

一、設計流化床實驗模型

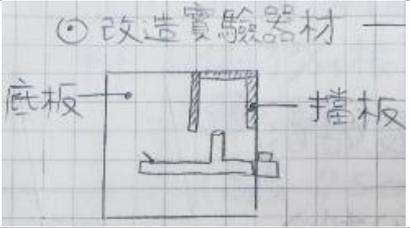
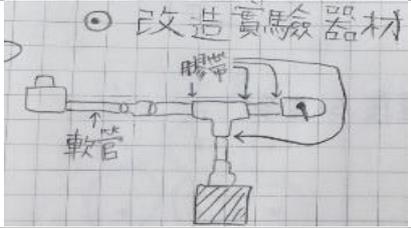
(一)、寶特瓶流化床

實驗後發現問題：

1. 用魚用打氣機打氣時沙子完全沒有反應，我們推想應該是氣壓不夠，所以後來換成打氣球用的雙向打氣筒。
2. 當沙子多一點的時候，打氣筒還是打不動，只有當沙子少一點時才可以推動打氣筒，但當可以推動打氣筒時，沙子又因為太少直接噴出寶特瓶外。
3. 用雙向打氣筒後我們又發現沙子會沿著管子掉到底部，結果把整個出風口堵住氣出不來了。
4. **改進的想法：**
 - (1). 寶特瓶流化床只有一個洞口，就算有氣進去也只有少少的氣體，並無法讓大量的沙子產生流化，所以我們應該設計一個可以有很多洞的裝置。
 - (2). 不管是用打氣筒或魚用打氣機氣都有氣流量不夠與氣體不穩定的情況發生，所以我們決定採用氣量較大的**電動打氣機**。



(二)、壓克力盒流化床-主體開發

		
連接入風口	控制入風口氣量	加高壓克力盒
		
製作擋板	利用軟管防止漏風	

實驗後發現問題與改進的想法：

1. 打氣機距離洞口的遠近會影響沙子流化的成功，離入風口越近才容易成功，為了減少這類的實驗誤差，我們應該把打氣機的出風口與壓克力盒的入風口接在一起。
2. 實驗時沙子一直噴出來到桌面，所以我們想加高壓克力盒的高度。
3. 打氣機的風力大小是固定無法改變，但我們想改變入風口的風量，所以我們想在打氣機的另一邊接一個開關來調整入風口的風量。
4. 雖然用泡棉可以將入風口與水管接合，但發現因為水管是硬的移動的過程中容易造成漏洞的產生，所以我們想要把接合的部分用軟水管接合。

(三)、壓克力盒流化床-風力的檢測與整流

1. 風力的檢測

我們想知道風從入風口進去後往上衝時風到底是從哪裡出來的?所以我們利用風速計去測量壓克力盒上方 9 個不同地方的風速。



實驗結果發現到在壓克力盒上方的風速 9 個地方都不太一樣，因為當風從入風口打出後直接衝擊壓克力壁造成風直接上衝，所以很明顯的四個角落的風速明顯比中間的風速要快。

	入風口	
1.7m/s	0.1 m/s	1.3 m/s
0.1 m/s	0.3 m/s	0.3 m/s
1.6 m/s	0 m/s	1.4 m/s

2. 風力的整流

我們在壓克力盒內加裝了吸管，讓風從入風口進來後可以經過整流的過程，讓原本混亂的風可以經過整流後讓風經過孔洞後風速接近相同。



3. 整流後的檢測

(1). 風速計的檢測:



實驗結果發現到在壓克力盒上方的風速 9 個地方都大致相同了，雖然還是不太一樣，但很明顯的比原本未整流時誤差更小。

	入風口	
3.6m/s	3.3 m/s	3.5 m/s
3.8m/s	3.4 m/s	3.4m/s
3.7m/s	3.5 m/s	3.8 m/s

(2). 吸管的檢測:

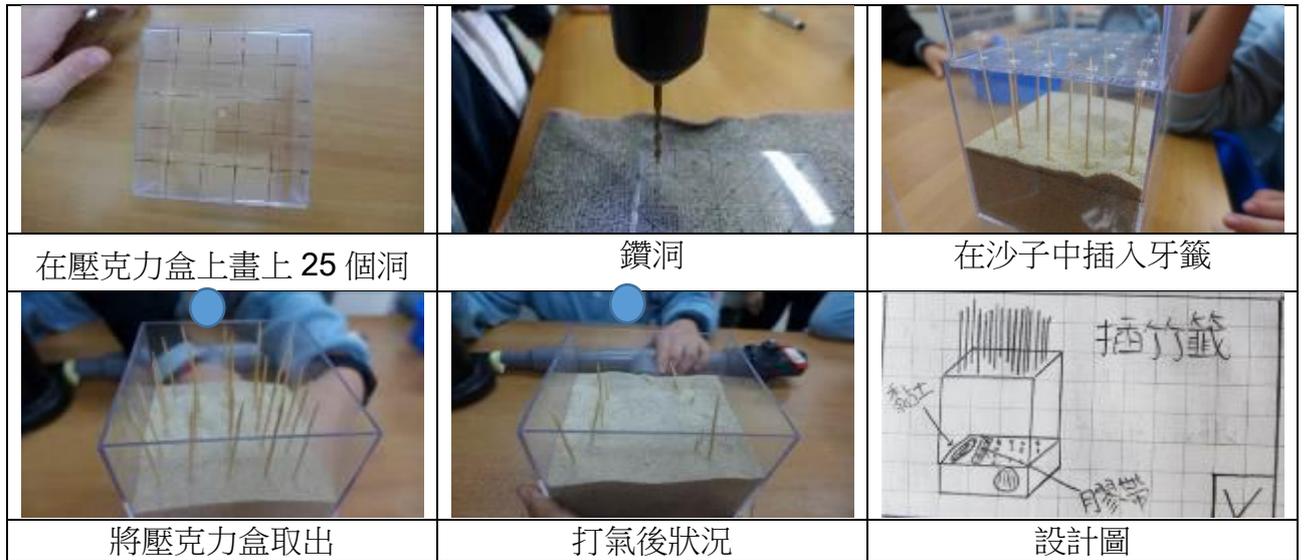
我們在孔洞的上方用黏土黏上一根吸管，吸管上放一個小保麗龍球，看看打氣後保麗龍球是否能夠穩定的浮在吸管上方。

實驗結果保麗龍球都可以穩穩地飄在吸管上方，且高度一致，表示風力大小是穩定一樣的。



二、測量流化

(一)、**牙籤法**：我們想在未通氣之前插入牙籤，等到通氣之後流化的部分應該會插不住牙籤而倒下，藉此來測量是否流化成功。



實驗後發現：很開心地找到了流化的方法，但後來在判斷流化是否成功時發現到那牙籤倒一半或是稍微斜一點的要不要算成功阿？所以這個方法我們沒有採用。

(二)、**鋼珠法**：如果我們不是放牙籤，放小鋼珠呢？這樣當成功流化時小鋼珠究會沉下去了阿，我們只要算沒有沉下去的不就好了。



實驗後發現：

(1). 我們發現因為鋼珠是圓的容易滾動，當鋼珠接近氣流時因為伯努力原理作用，鋼珠靠近氣流的一邊氣體流速快壓力小，因此把鋼珠給吸進去而導致鋼珠堵住氣孔造成氣流無法向上噴發所以造成沙子沒有流動。



- (2). 改用小螺帽放在噴發洞口的時候，氣流可以持續噴發，讓放在螺帽上方的小保麗龍球噴走，證明可以讓氣流持續噴發，所以可以用小螺帽來測量有沒有流化成功。

(三)、螺帽法-最佳方法

		
板子上有螺帽	螺帽掉入沙中	實驗完後情況
		25 個螺帽中如果有 5 個未沉下去，20 個沉下去，則流化為 $20/25*100=80\%$
用強力磁鐵吸收表面未沉下去的螺帽	算沉到沙中的剩下數量	流化百分比

【研究二】：探討流化的原因與產生的現象

一、資料查詢 1：流體化床

當流體（氣體或液體）由固體粒子的床體下方通入時，在低速下，粒子並不移動，此時為固定床，若流體速度逐漸增加，其壓力差亦隨之增大，當流速大於最小流體化速度時，粒子互相分開，呈懸浮狀，此一完全懸浮粒子床體即稱為流體化床。流速再繼續增大則粒子會隨流體之流動而流出。



資料查詢 2：前美國太空人宇航局工程師 Mark Rober 自製流體沙將沙子製作成了像水一樣具有流動特性的流化體，而且還將沙子裝了滿滿一浴缸，具有流化特質的沙子，像液體一樣，當向其中拋入籃球的時候，沙子看上去就像水一樣，激盪起了一層一層的漣漪。為了使沙子能夠表現出流化現象，Mark Rober 在沙床的底部，不斷通入空氣，增大了沙子之間的空間，並可以更加自由的流動。這樣沙子就能像液體那樣了，失敗了 25 次才終於成功製作出來。



資料查詢中我們發現：

1. 日本節目中的神奇沙主要由孔洞、沙子、氣體三項因素所影響。
2. 影響孔洞的因素有：孔大小、孔數量、孔位置
3. 影響沙子的因素有：沙粒大小、沙子高度、沙子含水量。
4. 影響氣體的因素有：氣壓的大小

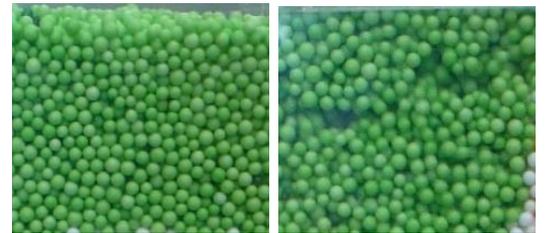
二、初步觀察流動軌跡(研究七、八有深入探討)

我們利用不同顏色的小保麗龍球觀察當產生流化作用時，小保麗龍球流動軌跡怎麼變化的，初步證明有流化作用時，會造成氣流的移動。



實驗中我們發現：

1. 由上圖我們觀察到，當流化產生時底層的保麗龍球會被氣流帶到上層，而上層的保麗龍球會帶往下層，如此循環造成保麗龍球在流動，而形成流化作用。
2. 當空氣打進去後原本排列比較緊密的保麗龍球距離會加大如右圖，造成整個保麗龍球的高度變高。



三、觀察流化時表面類型

無動型	平緩型	泡泡型	翻滾型	火山爆發型

四、觀察流化側面氣泡類型

微型型	小泡泡型	大泡泡型	長直泡型

【研究三】：探討「孔數量、孔距離、孔大小」彼此間對流化的影響

由研究二我們得知孔洞的數量、距離與大小彼此之間會影響流化的結果，所以我們採用這三種變因來探討孔洞的數量、距離與大小的最佳流化黃金比例。

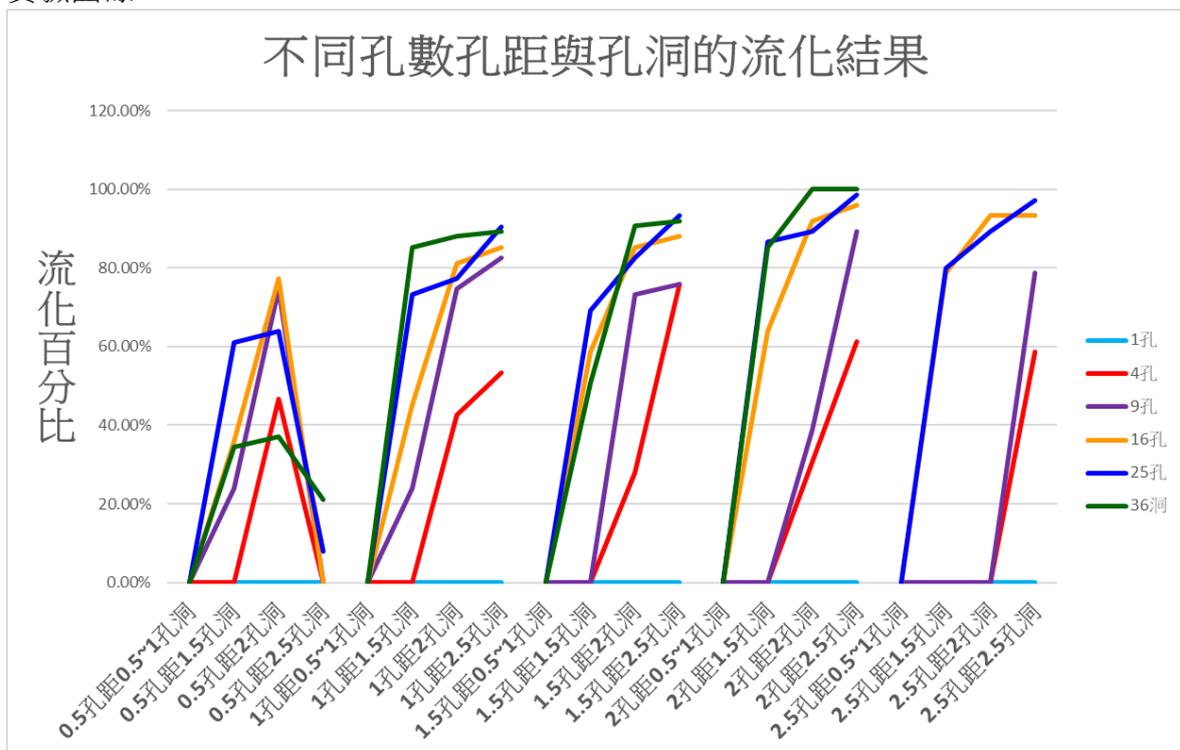
- 一、實驗方法：孔數量我們採用 1、4、9、16、25、36，六種不同數量的洞，孔距離我們採用 0.5mm、1mm、1.5mm、2mm、2.5mm，五種不同距離的洞，孔大小我們採用 0.5mm、1mm、1.5mm、2mm、2.5mm，五種不同大小的洞。總共有 125 個實驗，每個實驗做三次，取平均流化率，藉此來比較三種變因之間的最佳黃金比例。
- 二、實驗記錄：

孔洞數量	孔洞距離(mm)	孔洞大小(mm)	螺帽下沉數量				流化率= 平均/25*100% (單位%)	現象
			第一次	第二次	第三次	平均		
1	0	0.5~2.5	0	0	0	0	0	無動型
孔洞數量	孔洞距離(mm)	孔洞大小(mm)	螺帽下沉數量				流化率= 平均/25*100% (單位%)	現象
			第一次	第二次	第三次	平均		
4	0.5	0.5~1.5	0	0	0	0.0	0.0%	無動型
4	0.5	2	12	11	12	11.7	46.7%	小火山
4	0.5	2.5	0	0	0	0.0	0.0%	火山爆發型
4	1	0.5~1.5	0	0	0	0.0	0.0%	無動型
4	1	2	11	13	8	10.7	42.7%	小火山
4	1	2.5	15	14	11	13.3	53.3%	火山爆發型
4	1.5	0.5~1.5	0	0	0	0.0	0.0%	無動型
4	1.5	2	6	7	8	7.0	28.0%	小火山
4	1.5	2.5	19	19	19	19.0	76.0%	火山爆發型
4	2	0.5~1.5	0	0	0	0.0	0.0%	無動型
4	2	2	7	9	7	7.7	30.7%	小火山
4	2	2.5	14	16	16	15.3	61.3%	火山爆發型
4	2.5	0.5~2	0	0	0	0.0	0.0%	無動型
4	2.5	2.5	14	16	14	14.7	58.7%	火山爆發型
孔洞數量	孔洞距離(mm)	孔洞大小(mm)	螺帽下沉數量				流化率= 平均/25*100% (單位%)	現象
			第一次	第二次	第三次	平均		
9	0.5	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型
9	0.5	1.5	7	5	6	6.0	24.0%	小火山
9	0.5	2	17	21	18	18.7	74.8%	火山爆發型
9	0.5	2.5	0	0	0	0.0	0.0%	火山爆發型
9	1	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型
9	1	1.5	6	5	7	6.0	24.0%	泡泡型
9	1	2	18	19	19	18.7	74.7%	火山爆發型
9	1	2.5	21	20	21	20.7	82.7%	火山爆發型
9	1.5	0.5~1.5	0	0	0	0.0	0.0%	無動型
9	1.5	2	17	20	18	18.3	73.3%	泡泡型
9	1.5	2.5	20	19	18	19.0	76.0%	火山爆發型
9	2	0.5~1.5	0	0	0	0.0	0.0%	無動型
9	2	2	8	11	10	9.7	38.7%	平緩型

9	2	2.5	22	22	23	22.3	89.3%	翻滾型	
9	2.5	0.5~2	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
9	2.5	2.5	20	20	19	19.7	78.7%	泡泡型	
			螺帽下沉數量					流化率=	現象
孔洞數量	孔洞距離(mm)	孔洞大小(mm)	第一次	第二次	第三次	平均	平均/25*100% (單位%)		
16	0.5	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
16	0.5	1.5	9	9	9	9.0	36.0%	火山爆發型	
16	0.5	2	19	22	17	19.3	77.3%	火山爆發型	
16	0.5	2.5	0	0	0	0.0	0.0%	火山爆發型	
16	1	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
16	1	1.5	11	10	13	11.3	45.3%	平緩型	
16	1	2	20	21	20	20.3	81.2%	泡泡型	
16	1	2.5	19	23	22	21.3	85.3%	翻滾型	
16	1.5	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
16	1.5	1.5	14	15	15	14.6	58.7%	平緩型	
16	1.5	2	22	23	19	21.3	85.3%	泡泡型	
16	1.5	2.5	22	22	22	22.0	88.0%	翻滾型	
16	2	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
16	2	1.5	16	19	13	16.0	64.0%	平緩型	
16	2	2	23	23	23	23.0	92.0%	翻滾型	
16	2	2.5	23	25	24	24.0	96.0%	翻滾型	
16	2.5	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
16	2.5	1.5	20	17	22	19.7	78.7%	平緩型	
16	2.5	2	23	23	24	23.3	93.3%	翻滾型	
16	2.5	2.5	23	23	24	23.3	93.3%	翻滾型	
			螺帽下沉數量					流化率=	現象
孔洞數量	孔洞距離(mm)	孔洞大小(mm)	第一次	第二次	第三次	平均	平均/25*100% (單位%)		
25	0.5	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
25	0.5	1.5	12	17	15	14.6	61.1%	火山爆發型	
25	0.5	2	14	16	18	16.0	64.0%	火山爆發型	
25	0.5	2.5	4	0	2	2.0	8.0%	火山爆發型	
25	1	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
25	1	1.5	18	21	16	18.3	73.3%	泡泡型	
25	1	2	18	20	20	19.3	77.3%	翻滾型	
25	1	2.5	23	22	23	22.6	90.6%	翻滾型	
25	1.5	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
25	1.5	1.5	16	19	17	17.3	69.3%	泡泡型	
25	1.5	2	20	23	19	20.7	82.7%	翻滾型	
25	1.5	2.5	22	25	23	23.3	93.3%	翻滾型	
25	2	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
25	2	1.5	19	24	22	21.7	86.7%	泡泡型	
25	2	2	23	20	24	22.3	89.3%	泡泡型	
25	2	2.5	24	25	25	24.3	98.6%	翻滾型	

25	2.5	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
25	2.5	1.5	21	19	20	20.0	80.0%	泡泡型	
25	2.5	2	21	22	24	22.3	89.3%	翻滾型	
25	2.5	2.5	24	25	24	24.3	97.3%	翻滾型	
			螺帽下沉數量					流化率=	
孔洞數量	孔洞距離(mm)	孔洞大小(mm)	第一次	第二次	第三次	平均	平均/25*100% (單位%)	現象	
36	0.5	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
36	0.5	1.5	10	7	9	8.6	34.4%	火山爆發型	
36	0.5	2	8	11	9	9.3	37.2%	火山爆發型	
36	0.5	2.5	5	7	4	5.3	21.2%	火山爆發型	
36	1	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
36	1	1.5	21	20	23	21.3	85.2%	泡泡型	
36	1	2	22	22	22	22.0	88.0%	泡泡型	
36	1	2.5	22	22	23	22.3	89.3%	翻滾型	
36	1.5	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
36	1.5	1.5	13	13	12	12.7	50.7%	平緩型	
36	1.5	2	23	22	23	22.7	90.7%	泡泡型	
36	1.5	2.5	24	23	22	23.0	92.0%	泡泡型	
36	2	0.5~1	0	0	0	0.0	0.0%	無動型	
36	2	1.5	21	21	22	21.3	85.3%	泡泡型	
36	2	2	25	25	25	25.0	100.0%	翻滾型	
36	2	2.5	24	25	24	24.3	97.3%	翻滾型	

三、實驗曲線



討論：

1. 當孔數為1時，不論孔洞的大小，都不能夠造成流化，實驗觀察發現主要是因為氣流數量太少無法推動整片沙子流動。

2. 由實驗圖表觀察不同孔洞、孔距離與孔大小彼此之間互相影響流化程度，各孔最佳流化組合如下表格。

孔數	孔距	孔大小	流化程度	孔數	孔距	孔大小	流化程度
1	0	0.5~2.5	0%	16	2	2.5	96%
4	1.5	2.5	76%	25	2	2.5	98.6%
9	2	2.5	89.3%	36	2	2	100%

(1). 孔數4的分析：因孔數少，氣流量不夠，因此孔洞越大氣流流出越多效果好，但如果孔距太集中(0.5~1mm)，沙就會**集中中央流入**進氣孔影響氣流噴出，孔距太分散(2~2.5mm)，**氣流沒有集中向上噴發**，所以1.5mm為最佳孔距。

(2). 孔數9、16與25的分析：孔洞越大時效果較好，當孔距為0.5~1.5mm時，孔洞較集中會讓氣流向上流動的面積減少，再加上沙會**流入**進氣孔影響氣流噴出，而當孔距為2.5mm時，距離太遠**孔洞與孔洞之間會有小沙丘(如右上圖)**，表示沙子沒有流化均勻。



(3). 孔數36的分析：我們發現孔洞竟然不是2.5mm最好，實驗中觀察到，因為**孔數量最多**，所以**氣流往上衝的平均力道減弱**，所以當孔洞為2mm時，可以讓氣流強度變得較強增加流化，而孔距2mm流化效果優於0.5~1.5mm。

3. 由實驗圖表觀察到**孔洞越大流化越好**，但0.5mm孔距時2mm孔洞比2.5mm孔洞效果好，主要是因為0.5mm孔距距離太小，主要噴發型態為火山爆發型，當孔洞為2.5mm時**沙子會大量流下孔洞**，**阻擋氣流流出**，因此流化效果較差。
4. 孔洞大小是0.5mm與1mm，不管孔數與孔距是多少都不能造成流化，主要是因為噴出的氣力量不夠無法推動沙子流動，所以推測如果想讓沙子流動可能要**增加氣壓或用更細小的沙子(研究四探討)**。

【研究四】：探討「顆粒大小、沙子高度、沙子含水量、氣壓大小」對流化的影響

一、探討顆粒大小不同(0.2mm、0.5mm、0.8mm)

1. 實驗方法：準備 0.2mm、0.5mm、0.8mm 顆粒大小不同的沙子分別用孔數 36、孔距 2mm 與孔洞(0.5mm、1mm、1.5mm、2mm)來測量流化，並將氣壓控制一致，維持穩定。

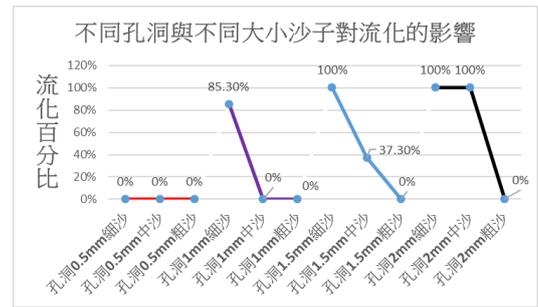


2. 實驗記錄：

		第一次	第二次	第三次	平均	流化百分比
孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 0.5mm	0.2mm(細沙)	0	0	0	0	0%
	0.5mm(中沙)	0	0	0	0	0%
	0.8mm(粗沙)	0	0	0	0	0%
孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 1mm	0.2mm(細沙)	21	22	21	21.3	85.3%
	0.5mm(中沙)	0	0	0	0	0%
	0.8mm(粗沙)	0	0	0	0	0%
孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 1.5mm	0.2mm(細沙)	25	25	25	25	100%
	0.5mm(中沙)	9	9	10	9.3	37.3%
	0.8mm(粗沙)	0	0	0	0	0%
孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 2mm	0.2mm(細沙)	25	25	25	25	100%
	0.5mm(中沙)	25	25	25	25	100%
	0.8mm(粗沙)	0	0	0	0	0%

3. 討論：

- (1). 0.5mm 的孔洞因為太小了，氣流量太弱，所以裝細、中、粗沙都無法流化。
- (2). 1mm 的孔洞可以讓細沙有 85.3% 的流化，而中沙與粗沙都無法流化。
- (3). 1.5mm 的孔洞可以讓細沙有 100% 的流化，而中沙有 37.3% 但粗沙無法流化。
- (4). 2mm 的孔洞可以讓細、中沙有 100% 的流化，但粗沙無法流化。
- (5). 沒有一種孔洞可以讓粗砂子產生流化，主要原因是因為沙子重量太重，氣流無法推動，因此無流化。
- (6). 越細的沙子越適合當作流沙，因為氣流越容易將沙子往上推動，而越粗的沙子因為越重，造成氣流無法順利推動所以流化效果差。實驗中我們以 0.2mm 的沙子當作細沙。



二、探討沙子高度(高度為 5 公分、10 公分、15 公分、20 公分、25 公分)

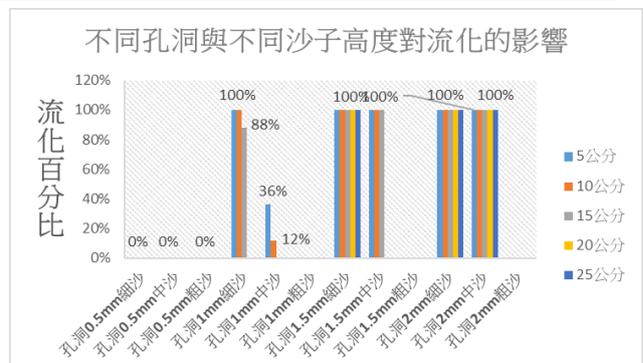
1. 實驗方法：將細中粗沙高度增加為 5 公分、10 公分、15 公分、20 公分、25 公分，分別用孔數 36、孔距 2mm 與孔洞(0.5mm、1mm、1.5mm、2mm)來測量流化。

2. 實驗記錄：

		5 公分	10 公分	15 公分	20 公分	25 公分
孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 0.5mm	0.2mm(細沙)	0%	0%	0%	0%	0%
	0.5mm(中沙)	0%	0%	0%	0%	0%
	0.8mm(粗沙)	0%	0%	0%	0%	0%
孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 1mm	0.2mm(細沙)	100%	100%	88%	0%	0%
	0.5mm(中沙)	36%	12%	0%	0%	0%
	0.8mm(粗沙)	0%	0%	0%	0%	0%
孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 1.5mm	0.2mm(細沙)	100%	100%	100%	100%	100%
	0.5mm(中沙)	100%	100%	100%	0%	0%
	0.8mm(粗沙)	0%	0%	0%	0%	0%
孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 2mm	0.2mm(細沙)	100%	100%	100%	100%	100%
	0.5mm(中沙)	100%	100%	100%	100%	100%
	0.8mm(粗沙)	0%	0%	0%	0%	0%

3. 討論：

- (1). 由孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 1mm 用細沙的中實驗中發現流化效果由 100%→88%→0%，當沙子高度越高整個重量越重，氣流能夠帶動的沙子流動的數量就減少，所以流化效果會隨高度增加而減少。
- (2). 如果要讓流化時沙子的高度較高，則使用細沙的效果最好，如果搭配較大的孔洞，甚至可以推動到 25 公分高的細沙。
- (3). 當沙子顆粒越大時，重量越重，氣流就難以推動沙子向上流動，所以由孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 1.5mm 中我們發現到，中沙只能最高到 15 公分，而細沙卻可以到 25 公分。



三、探討沙子含水量

1. 實驗方法：用孔數 36、孔距 2mm 與孔洞 2mm 的盒子裝五盆(全乾、1/4 乾+3/4 濕、1/2 乾+1/2 濕、3/4 乾+1/4 濕、全濕)不同含水量的沙子，比較五種含水量不同沙子的流化。
2. 實驗記錄：如下表格(採用孔數 36、孔距 2mm、孔洞 2mm、高度 5 公分、中沙)

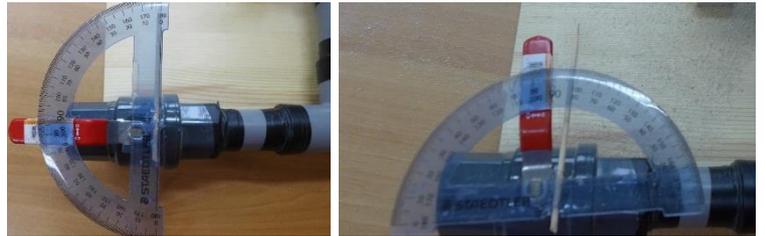
	全乾	3/4 乾+1/4 濕	1/2 乾+1/2 濕	1/4 乾+3/4 濕	潮濕
第一次	25	0	0	0	0
第二次	25	0	0	0	0
第三次	25	0	0	0	0
平均	25	0	0	0	0
流化百分比	100%	0%	0%	0%	0%
流化情況					

3. 討論：

- (1). 乾燥的沙子流化為 100%，而潮濕的沙子不管哪一種流化都為 0%，實驗中觀察到當沙子潮濕的時候，彼此之間會黏在一起導致空氣沒辦法順利在沙子之間均勻混和，最後觀察到沙子會整個被頂起來或氣會從最弱的地方突破而衝出表面，導致流化效果差。

四、氣壓大小對流化的影響

1. 實驗方法：利用量角器與竹籤黏在開關的握把上，當角度為 0 時開關打開，出風口的氣壓最小，當角度指在 85~90 度時開關全部關閉，出風口的氣壓最大，觀察不同角度時的流化情況。

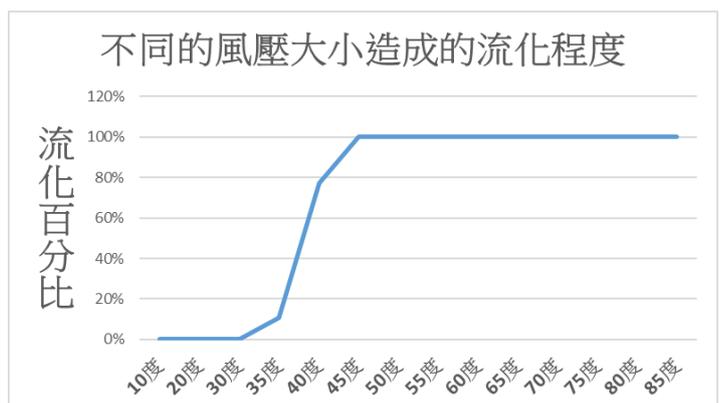


2. 實驗記錄：(採用孔數 36、孔距 2mm、孔洞 2mm、高度 5 公分、中沙)

	10 度	20 度	30 度	35 度	40 度	45 度	50 度	55 度	60 度	65 度	70 度	75 度	80 度	85 度
第一次	0	0	0	3	18	25	25	25	25	25	25	25	25	25
第二次	0	0	0	2	20	25	25	25	25	25	25	25	25	25
第三次	0	0	0	3	20	25	25	25	25	25	25	25	25	25
平均	0	0	0	2.7	19.3	25	25	25	25	25	25	25	25	25
流化百分比	0%	0%	0%	10.8%	77.2%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

3. 討論：

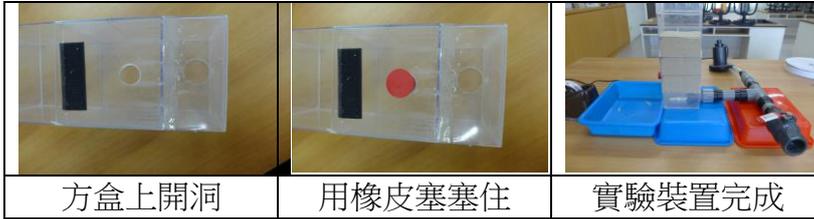
- (1). 當角度為 10~30 度時，產生的氣壓與風量都太小無法推動沙子往上流動，因此無流化現象。
- (2). 當角度為 35 度時流化為 10.8%，角度為 40 度時流化為 77.2%，當角度為 45~85 之間時流化為 100%。角度越大流化效果越好。
- (3). 實驗證明氣壓大小會影響流化效果，氣壓越大效果越好。



【研究五】：探討有無流化對「流沙下滑速度、體積變化」的影響

一、探討有無流化時流沙下滑速度：

1. 實驗方法：採用先將方盒開一個小洞，然後用橡皮塞將小洞塞住讓沙子不要流出來，分別計算沒有流化與有流化時，在十秒內流出沙子的重量。如果流出的重量越重則流化速度越快，相反的如果流出重量越輕則流化速度越慢。

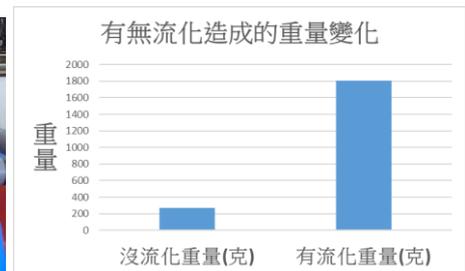
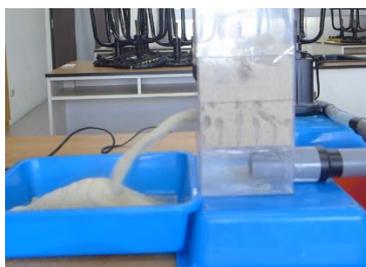
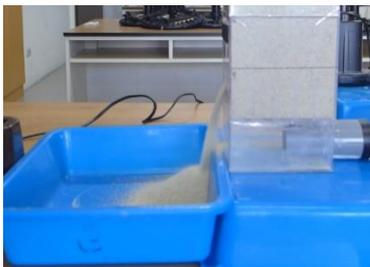


2. 實驗記錄：(採用孔數 36、孔距 2mm、孔洞 2mm、高度 15 公分、中沙)

	第一次	第二次	第三次	平均
沒流化重量(克)	278.5	265.1	270.3	271.3
有流化重量(克)	1802.6	1795.4	1812.3	1803.4

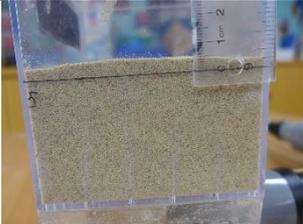
3. 討論：

- (1). 很明顯的有流化時十秒內沙子總共流出平均約 **1803.4** 克，而沒有流化的只有 **271.3** 克，兩者有 **1532.1** 克的差距。所以當有流化時沙子流化速度比沒有流化時要快。
- (2). 無流化沙子噴得較近，有流化時沙子噴得較遠。



二、探討有無流化時總體積的變化：

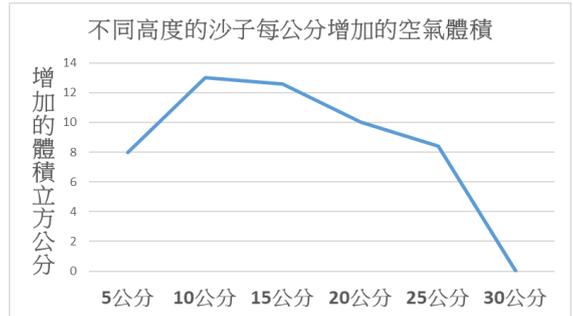
1. 實驗方法：測量不同高度的沙子流化後體積增加了多少？增加的體積就是空氣的儲存在內的體積。
2. 實驗結果：

沙子高度	流化後的高度	增加的體積(空氣的體積)	沙子高度	流化後的高度	增加的體積(空氣的體積)
5 公分		$10 \times 10 \times 0.4 = 40$ 立方公分(每公分平均增加 8 立方公分)	10 公分		$10 \times 10 \times 1.3 = 130$ 立方公分(每公分平均增加 13 立方公分)

15 公分		$10*10*1.9=190$ 立方公分 (每公分平均增加 12.6 立方公分)	20 公分		$10*10*2=200$ 立方公分 (每公分平均增加 10 立方公分)
25 公分		$10*10*2.1=$ 210 立方公分(每公分平均增加 8.4 立方公分)	30 公分		$10*10*0=0$ 立方公分 (每公分平均增加 0 立方公分)

3. 發現：

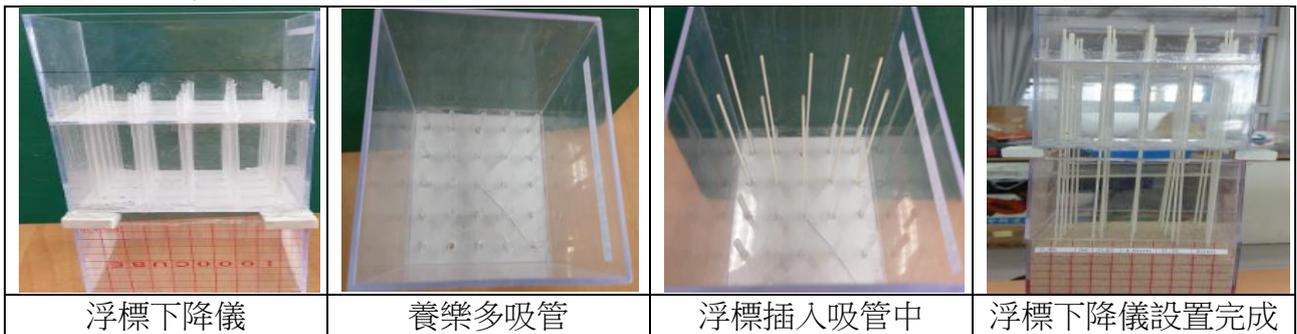
- (1). 當沙子高度為 5~25 公分時，流化後沙子的高度都增加了，表示氣流有在沙子內流動，形成流化，但 30 公分時高度沒有增加，無法流化。
- (2). 當沙子高度為 10 公分時平均每公分增加的空氣體積為 13 立方公分，為最多的，所以沙子高度最好為 10 公分。



【研究六】：探討「粗沙與細沙不同混沙模式」對氣流噴發狀況與流化程度的影響

- 一、實驗方法：使用孔數 36、孔距 2mm、孔洞 2mm 的壓克力盒，將氣閥全關，將五種不同組合(6 公分全粗沙、6 公分全細沙、3 公分下層粗沙+3 公分上層細沙、3 公分下層細沙+3 公分上層粗沙、6 公分混沙)沙子放入盒內，觀察氣流的噴發狀況與流化程度。
- 二、流化程度的設計：浮標法

研究六之前我們使用螺帽來測量有無流化，但沙子內每個不同的地方流化的情況卻無法測量，所以後來我們改良了牙籤法會東倒西歪的缺點，將牙籤替換成 30 公分的浮標，並用養樂多吸管與壓克力盒設計了浮標下降儀，讓每個浮標都可以直上直下不會歪。

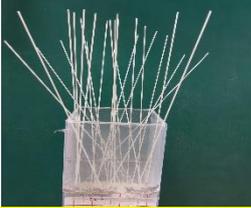
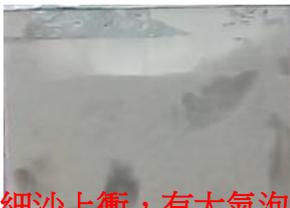


測量方法:將浮標下降儀放在要測量的壓克力盒上方，慢慢的把木板抽出，浮標就會下降插入沙子表面中，當沙子流化時浮標就會沉入沙中，實驗計時終了，用尺測量浮標下降深度，浮標平均下降深度越深表示流化程度越好。



用橡皮擦將兩個壓克力盒墊出空隙來，當打氣機打氣後，往上的氣流可以由這個空隙流出去，才不會影響到氣流與實驗結果

三、實驗記錄：

	氣流噴發狀況	流化程度(浮標圖)	3 次浮標平均下降高度 (cm)																									
全粗沙 	 粗沙不動，無流化	 浮標未下沉，全倒	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> <p>平均下降 0 公分</p>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0																								
0	0	0	0	0																								
0	0	0	0	0																								
0	0	0	0	0																								
0	0	0	0	0																								
全細沙 	 細沙上衝，有大氣泡	 浮標全面下陷深	<table border="1"> <tr><td>5.9</td><td>5.9</td><td>5.7</td><td>5.7</td><td>5.7</td></tr> <tr><td>5.8</td><td>5.8</td><td>5.8</td><td>5.9</td><td>5.7</td></tr> <tr><td>5.5</td><td>5.9</td><td>5.9</td><td>5.8</td><td>5.9</td></tr> <tr><td>6</td><td>5.7</td><td>5.6</td><td>5.8</td><td>5.9</td></tr> <tr><td>5.7</td><td>5.8</td><td>6</td><td>5.6</td><td>5.9</td></tr> </table> <p>平均下降 5.79 公分</p>	5.9	5.9	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	5.7	5.5	5.9	5.9	5.8	5.9	6	5.7	5.6	5.8	5.9	5.7	5.8	6	5.6	5.9
5.9	5.9	5.7	5.7	5.7																								
5.8	5.8	5.8	5.9	5.7																								
5.5	5.9	5.9	5.8	5.9																								
6	5.7	5.6	5.8	5.9																								
5.7	5.8	6	5.6	5.9																								
上細沙下粗沙 	 細沙上衝，有小氣泡	 浮標下陷細沙層	<table border="1"> <tr><td>3.4</td><td>3.2</td><td>3</td><td>3.3</td><td>3.2</td></tr> <tr><td>3.1</td><td>3.5</td><td>3.2</td><td>3.3</td><td>3.3</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.1</td><td>3.3</td><td>3.1</td><td>3</td></tr> <tr><td>2.9</td><td>3.3</td><td>3.5</td><td>3.3</td><td>3.2</td></tr> <tr><td>3.2</td><td>3.3</td><td>3.4</td><td>3.1</td><td>3.3</td></tr> </table> <p>平均下降 3.22 公分</p>	3.4	3.2	3	3.3	3.2	3.1	3.5	3.2	3.3	3.3	3	3.1	3.3	3.1	3	2.9	3.3	3.5	3.3	3.2	3.2	3.3	3.4	3.1	3.3
3.4	3.2	3	3.3	3.2																								
3.1	3.5	3.2	3.3	3.3																								
3	3.1	3.3	3.1	3																								
2.9	3.3	3.5	3.3	3.2																								
3.2	3.3	3.4	3.1	3.3																								
上粗沙下細沙 	 粗細沙交界處有裂縫	 浮標只 4 支下沉	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5.3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>3.1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1.9</td></tr> </table> <p>平均下降 0.56 公分</p>	0	0	0	0	0	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	3.1	0	0	0	1.9
0	0	0	0	0																								
5.3	0	0	0	0																								
0	0	0	0	0																								
0	0	0	0	3.8																								
3.1	0	0	0	1.9																								
粗細混和沙 	 細沙往上流竄浮出	 浮標只 5 支下沉	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>2.4</td><td>0</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>0</td><td>0</td><td>1.9</td><td>1.2</td></tr> </table> <p>平均下降 0.42 公分</p>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.4	0	1.6	0	0	0	0	0	3.5	0	0	1.9	1.2
0	0	0	0	0																								
0	0	0	0	0																								
0	0	2.4	0	1.6																								
0	0	0	0	0																								
3.5	0	0	1.9	1.2																								

四、討論：

1. 當全是粗沙時，氣流推不動粗沙，浮標全沒有下沉，無流化情形。全部是細沙時，浮標平均下降最多，多道氣流如大氣泡般由底部向上衝出，全面流化效果好。
2. 當上細下粗時，下層粗沙幾乎不動，上層細沙卻有小泡泡產生，浮標只在細沙層下沉，且表面翻滾的流沙氣泡比全部是細沙時要綿密多了。
3. 當上粗下細時，細沙奮力往上衝，但被粗沙阻擋無法向上，甚至塞滿粗沙層的縫隙，因此在粗細的交界處氣壓增大而撐出一個大裂縫，浮標只少數有輕微下沉。
4. 當粗細混合時，細沙會從粗砂縫隙慢慢向上流竄，然後浮出表面，流化軌跡非常有趣，但浮標也只少數有輕微下沉，流化效果差。

【研究七】：利用分層彩沙探討不同孔洞模式的流化軌跡與流化程度的變化

實驗方法：利用各分層厚度 3 公分的彩色細沙，探討全部都是 36 洞，但有 4 種排列模式(平均分布底部、緊密集中在中央、鬆散散布中央、平均分布外圍)時，流化的程度(利用浮標測量)與流化的軌跡(利用平板錄影)有何不同？

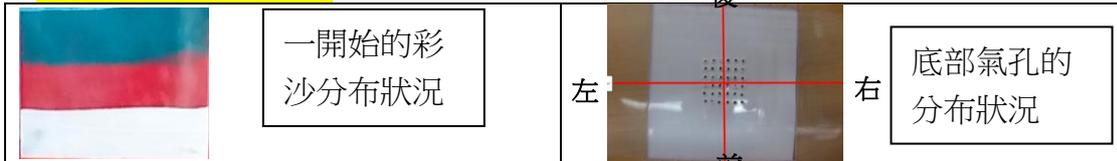
一、實驗記錄與結果：

1. 【36 洞平均分布底部】的流化程度與軌跡

A.前面觀察結果	3 秒後	10 秒後	20 秒後	30 秒後	浮標流化圖																									
<p>前面氣孔分布狀況</p>					<p>25 個浮標 3 次平均下降高度 (cm)</p> <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <tr><td>7.5</td><td>7.7</td><td>8.3</td><td>7.5</td><td>6.7</td></tr> <tr><td>7.1</td><td>7.3</td><td>7.6</td><td>7.3</td><td>7.2</td></tr> <tr><td>7.4</td><td>7.4</td><td>7</td><td>7.1</td><td>7.6</td></tr> <tr><td>7.2</td><td>7.2</td><td>7.1</td><td>7.5</td><td>7.8</td></tr> <tr><td>7.3</td><td>7.4</td><td>8</td><td>8.4</td><td>8.2</td></tr> </table> <p style="color: red;">平均下降 7.47 公分</p>	7.5	7.7	8.3	7.5	6.7	7.1	7.3	7.6	7.3	7.2	7.4	7.4	7	7.1	7.6	7.2	7.2	7.1	7.5	7.8	7.3	7.4	8	8.4	8.2
7.5	7.7	8.3	7.5	6.7																										
7.1	7.3	7.6	7.3	7.2																										
7.4	7.4	7	7.1	7.6																										
7.2	7.2	7.1	7.5	7.8																										
7.3	7.4	8	8.4	8.2																										
<p>後面氣孔分布狀況</p>																														
<p>左面氣孔分布狀況</p>																														
<p>右面氣孔分布狀況</p>																														
<p>上面氣孔分布狀況</p>																														
<p>上面氣孔分布狀況</p>					<p>浮標流化圖</p>																									

1. 由五面影像慢速播放分析：雖然 36 洞平均分布，但都是先有部分孔洞的氣流由底層突破向上衝出，然後氣孔周圍的沙子被低壓吸引向洞口流動，造成附近沙層鬆動，第二股氣流再衝出，周圍的沙子又被吸引向氣流，接續再有新的氣流突破衝出。
2. 由 E(上)面觀察得知：氣流突破口為右下方，即 A(前)面與 D(右)面交界處氣流最先衝出，但很快的其他位置也陸續向上湧出沙粒，此起彼落全面流化。
3. 本孔洞排列模式的浮標平均下降最多，且下降深度都很接近，顯示流化程度最好且平均。

2. 【36 洞緊密集中在中央】的流化程度與軌跡

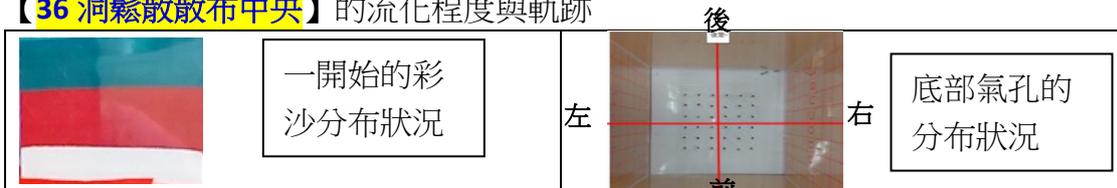


	3 秒後	10 秒後	20 秒後	30 秒後	浮標流化圖																									
A.前面觀察結果 前面氣孔分布狀況					 25 個浮標 3 次平均下降高度 (cm) <table border="1" data-bbox="1204 1079 1489 1272"> <tr><td>4.2</td><td>4.6</td><td>4.7</td><td>4.3</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>4.1</td><td>5.7</td><td>5.7</td><td>5.3</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>7.1</td><td>8.7</td><td>6.9</td><td>4.6</td></tr> <tr><td>4.2</td><td>6.1</td><td>5.7</td><td>5.6</td><td>4.3</td></tr> <tr><td>3.8</td><td>4.1</td><td>4.7</td><td>3.4</td><td>3.6</td></tr> </table> 平均下降 4.99 公分	4.2	4.6	4.7	4.3	3.8	4.1	5.7	5.7	5.3	5.2	4.5	7.1	8.7	6.9	4.6	4.2	6.1	5.7	5.6	4.3	3.8	4.1	4.7	3.4	3.6
4.2	4.6	4.7	4.3	3.8																										
4.1	5.7	5.7	5.3	5.2																										
4.5	7.1	8.7	6.9	4.6																										
4.2	6.1	5.7	5.6	4.3																										
3.8	4.1	4.7	3.4	3.6																										
B.後面觀察結果 後面氣孔分布狀況																														
C.左面觀察結果 左面氣孔分布狀況																														
D.右面觀察結果 右面氣孔分布狀況																														
E.上面觀察結果 上面氣孔分布狀況					 浮標流化圖																									

發現:

- 由 E 面觀察發現：當 36 洞緊密集中在中央時，氣流集中由中間突破，推動沙子由下往上衝，再平均分散容器壁周圍落下，不斷循環流化，表層呈現中心凹陷而外圍突起的現象。
- 因彩沙顆粒細小，堆疊緊實，側面觀察外圍各色層幾乎沒有移動的軌跡，只能看見上層靠近中央氣流的砂粒被吸入而上衝。
- 因為中央氣流流速快，流化較好，浮標下降最多；而靠外圍的沙層沒有崩落，浮標平均下降距離最少。本孔洞排列模式整體平均流化程度最差。

3. 【36 洞鬆散散布中央】的流化程度與軌跡

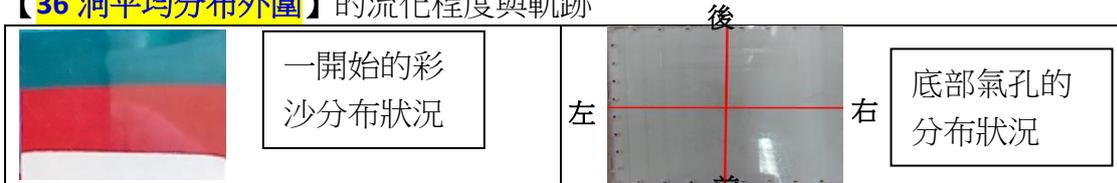


	3 秒後	10 秒後	20 秒後	30 秒後	浮標流化圖																									
A.前面觀察結果 前面氣孔分布狀況					 25 個浮標 3 次平均下降高度 (cm) <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <tr><td>2.8</td><td>3.7</td><td>4.9</td><td>4.7</td><td>2.2</td></tr> <tr><td>4.9</td><td>6.7</td><td>7.6</td><td>7.2</td><td>4.9</td></tr> <tr><td>5.4</td><td>7.6</td><td>8.9</td><td>7.5</td><td>6</td></tr> <tr><td>4.1</td><td>7.3</td><td>7.9</td><td>7.7</td><td>4.7</td></tr> <tr><td>3.1</td><td>6.8</td><td>7.7</td><td>6.6</td><td>3.4</td></tr> </table> 平均下降 5.77 公分	2.8	3.7	4.9	4.7	2.2	4.9	6.7	7.6	7.2	4.9	5.4	7.6	8.9	7.5	6	4.1	7.3	7.9	7.7	4.7	3.1	6.8	7.7	6.6	3.4
2.8	3.7	4.9	4.7	2.2																										
4.9	6.7	7.6	7.2	4.9																										
5.4	7.6	8.9	7.5	6																										
4.1	7.3	7.9	7.7	4.7																										
3.1	6.8	7.7	6.6	3.4																										
B.後面觀察結果 後面氣孔分布狀況																														
C.左面觀察結果 左面氣孔分布狀況																														
D.右面觀察結果 右面氣孔分布狀況																														
E.上面觀察結果 上面氣孔分布狀況					 浮標流化圖																									

發現:

- 1.由慢速影像分析，A、C、D 三面靠容器壁外圍中間層的紅色沙子，容易被孔洞較為分散沒有那麼集中的氣流向上推動或吸入中間氣流，綠色砂層也不斷被中間氣流吸入並下陷。
- 2.孔洞向外擴散能更有效流化外圍的砂粒，由四面可清楚觀察各色層的流化軌跡，色層的移位變動更明顯。
- 3.我們測量浮標下沉量發現，中央下沉最多，再來是中央四周，最後是外圍，顯示外圍流化效果較差，但整體平均流化程度仍優於孔洞集中中心的。

4. 【36 洞平均分布外圍】的流化程度與軌跡

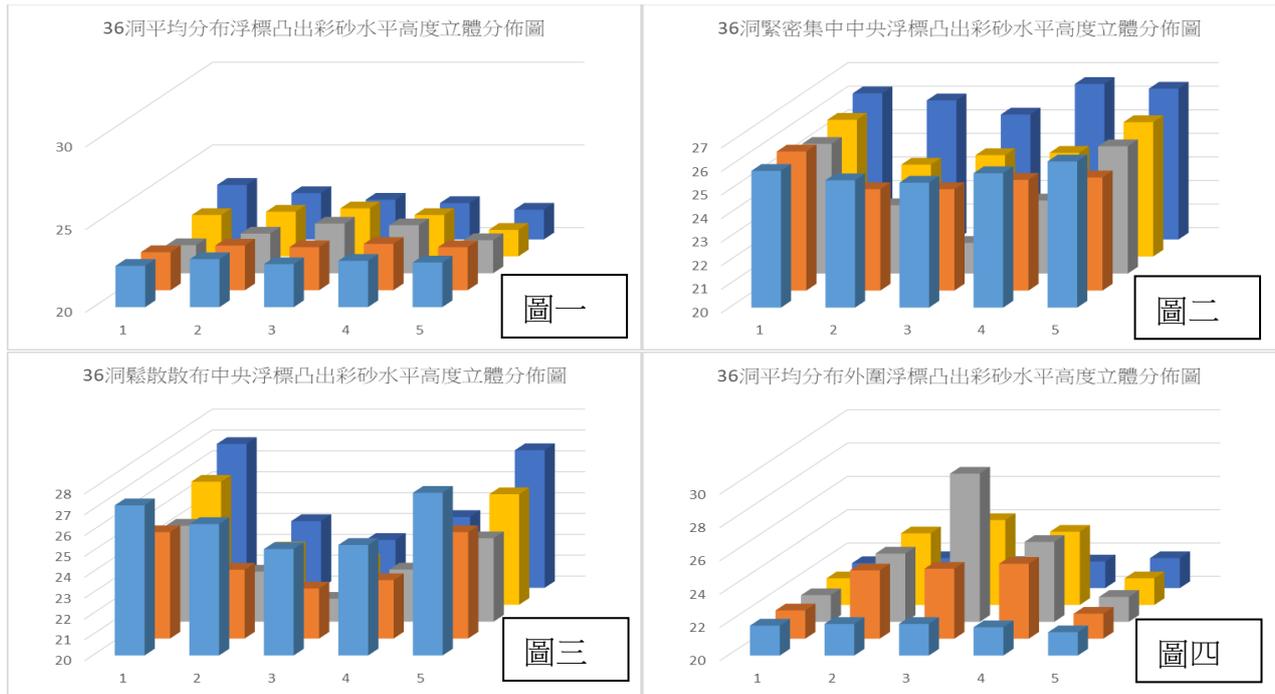


	一開始的彩沙分布狀況	底部氣孔的分布狀況																												
A.前面觀察結果	3 秒後	10 秒後	20 秒後	30 秒後	<p>25 個浮標 3 次平均下降高度 (cm)</p> <table border="1"> <tr><td>8.2</td><td>8.1</td><td>8.1</td><td>8.3</td><td>8.6</td></tr> <tr><td>8.3</td><td>5.9</td><td>5.8</td><td>5.5</td><td>8.5</td></tr> <tr><td>8.4</td><td>5.9</td><td>1.1</td><td>5.2</td><td>8.5</td></tr> <tr><td>8.4</td><td>5.7</td><td>4.9</td><td>5.6</td><td>8.4</td></tr> <tr><td>8.5</td><td>8.2</td><td>8.5</td><td>8.4</td><td>8.2</td></tr> </table> <p>平均下降 7.16 公分</p>	8.2	8.1	8.1	8.3	8.6	8.3	5.9	5.8	5.5	8.5	8.4	5.9	1.1	5.2	8.5	8.4	5.7	4.9	5.6	8.4	8.5	8.2	8.5	8.4	8.2
8.2	8.1	8.1	8.3	8.6																										
8.3	5.9	5.8	5.5	8.5																										
8.4	5.9	1.1	5.2	8.5																										
8.4	5.7	4.9	5.6	8.4																										
8.5	8.2	8.5	8.4	8.2																										
B.後面觀察結果	3 秒後	10 秒後	20 秒後	30 秒後																										
C.左面觀察結果	3 秒後	10 秒後	20 秒後	30 秒後																										
D.右面觀察結果	3 秒後	10 秒後	20 秒後	30 秒後																										
E.上面觀察結果	3 秒後	10 秒後	20 秒後	30 秒後	<p>浮標流化圖</p>																									

發現:

- 1 孔洞分布在外圍時，ABCD 四面靠容器壁各色層的彩砂，突破與混和速度最快，最後都變成綠色，外圍流化效果好，浮標下降最多。
- 2.由 E 面可以觀察到氣流都是由四面的外圍向上噴發，流沙顆粒持續堆疊在容器中央，中心浮標下沉量最少，中間流化效果差。
- 3.本孔洞排列模式的浮標下降深度內外相差最大，顯示流化程度相當不均。

5. 不同孔洞排列模式凸出彩砂平均水平面之浮標高度立體分佈圖比較分析

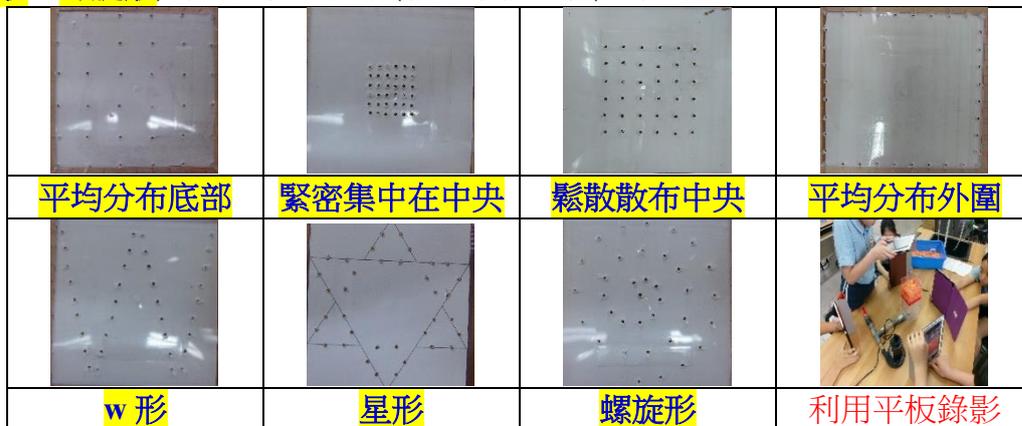


討論：

- (1). 藉由測量比較凸出於彩砂平均水平面之浮標高度(或浮標的下沉量)，可以清楚客觀比較容器中各部位細沙顆粒的流化程度。
- (2). 從立體分佈圖我們發現一個很有趣的現象：當圖形像薄豆腐，表示各位置浮標的平均下沉高度差不多，砂粒流化最均勻，豆腐形狀厚度越薄，流化程度越佳。(如圖一)。
- (3). 當圖形是中間凹陷像小碗公時，表示容器中央浮標的平均下沉量較多，中間砂粒流化程度較佳，而外圍砂粒流化程度較差(如圖三)；如果圖形中間與外圍的凹陷落差更大，代表氣流越向中心集中(如圖二)，當然砂粒流化程度也不會很均勻。
- (4). 當圖形像凸起的小山時，顯示中心部分流化最差，浮標下沉最少；當內外浮標的凸起高度相差越大(小山圖形的坡度越陡)，表示流化程度越不平均。

【研究八】：探討密度小的顆粒(小保麗龍球)的流化軌跡變化

一、實驗方法：利用各分層厚度 3 公分的小保麗龍球，探討全部都 36 洞，但有 7 種孔洞排列方式(平均分布底部、緊密集中在中央、鬆散散布中央、平均分布外圍、w 形、星形、螺旋形)時，流化的軌跡(利用平板錄影)有何不同?



實驗時用平板錄影後，之後利用電腦 movie maker 慢速播放影片，再用電腦鍵盤上的 print screen 鍵，影片定格後轉換成圖片，再將圖片放到小畫家上畫出流動箭頭。

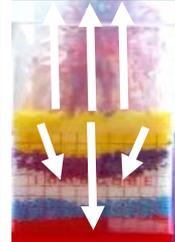
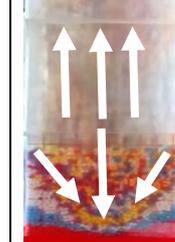
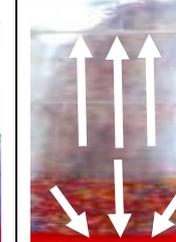
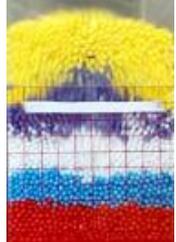
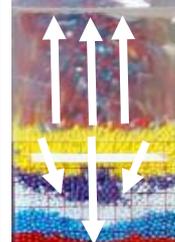
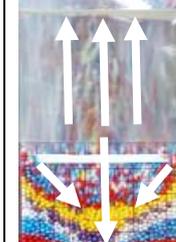
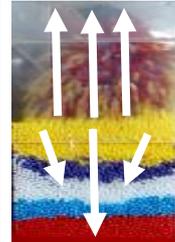
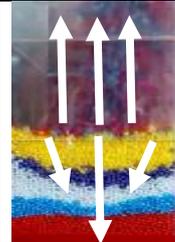
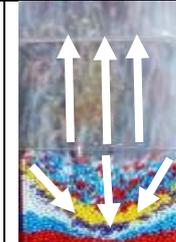
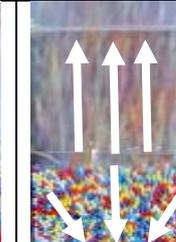
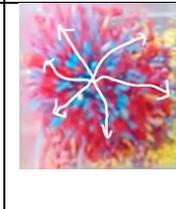
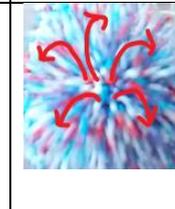
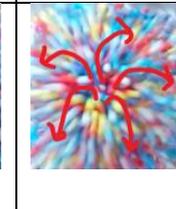
二、實驗記錄與結果：如下頁

1. 【36洞平均分布底部】的流化軌跡

		後				
	一開始的保麗龍球分布狀況	左		右	底部氣孔的分布狀況	
A.前面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後	
前面氣孔的分布狀況						
B.後面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後	
後面氣孔的分布狀況						
C.左面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後	
左面氣孔的分布狀況						
D.右面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後	
右面氣孔的分布狀況						
E.上面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後	
上面氣孔的分布狀況						

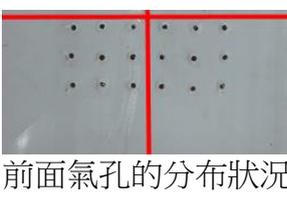
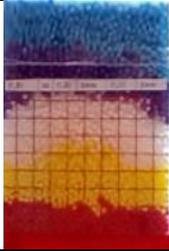
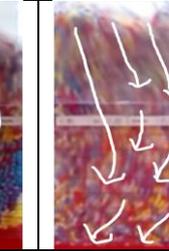
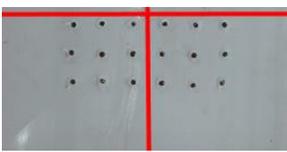
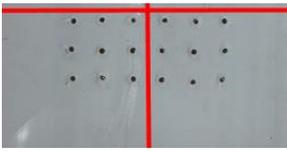
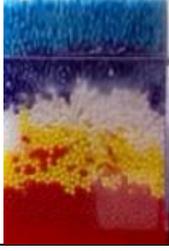
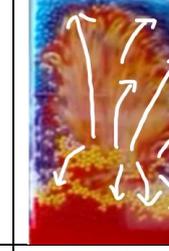
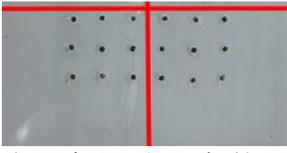
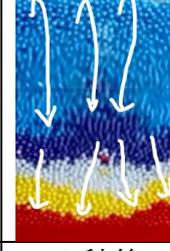
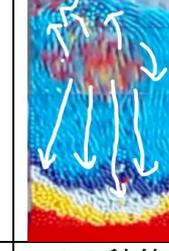
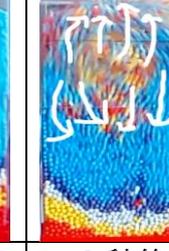
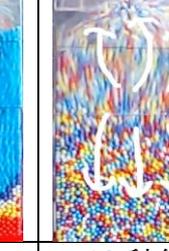
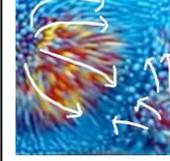
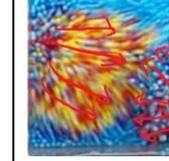
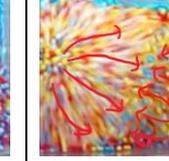
- 由影像慢速播放分析：雖然 36 洞平均分布，但氣流衝出時間稍有差異，比較快衝出的孔洞會先行快速突破，推擠顆粒由下往上流動(如圖 B.C)；而氣流衝出時間稍慢的那一面則受到對向噴發顆粒的擠壓與下方氣流吸引，上層顆粒反而由上往下流動(如圖 A.D)。
- 氣流向上推動顆粒時，因流速快形成的負壓，也吸進氣流周圍顆粒，不斷循環成功流化。
- 由 E(上)面觀察得知：氣流突破口為左上方，也就是 B(後)面與 C(左)面交界處氣流最先衝出，但很快的其他位置也陸續向上湧出顆粒，流化位置平均且全面。

2. 【36 洞緊密集中在中央】的流化軌跡

 <p>一開始的保麗龍球分布狀況</p>	 <p>底部氣孔的分布狀況</p>				
A. 前面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 <p>前面氣孔的分布狀況</p>					
B. 後面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 <p>後面氣孔的分布狀況</p>					
C. 左面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 <p>左面氣孔的分布狀況</p>					
D. 右面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 <p>右面氣孔的分布狀況</p>					
E. 上面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 <p>上面氣孔的分布狀況</p>					

- 由 E 面觀察發現：當 36 洞緊密集中在中央時，氣流集中由中間突破，推動顆粒由下往上衝，再平均分散容器壁周圍落下，不斷循環成功流化。
- 由 ABCD 四面的影像發現，因容器中間氣流流速快壓力小，靠容器外圍的顆粒由中間先行下陷並往中間氣流集中，兩側顆粒跟著下沉，形成中間下沉快兩側下沉慢的現象。
- 此孔洞排列模式，外圍顆粒由上往下沉，中間顆粒由下而上噴發的流化軌跡，路徑方向非常特別。

3. 【36 洞鬆散散布中央】的流化軌跡

 <p>一開始的保麗龍球分布狀況</p>	 <p>底部氣孔的分布狀況</p>				
A. 前面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 <p>前面氣孔的分布狀況</p>					
B. 後面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 <p>後面氣孔的分布狀況</p>					
C. 左面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 <p>左面氣孔的分布狀況</p>					
D. 右面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 <p>右面氣孔的分布狀況</p>					
E. 上面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 <p>上面氣孔的分布狀況</p>					

1. 當 36 洞鬆散散布中央時，BCD 三個面中間同時出現往上與往下分流的顆粒流化路徑，而 A 面則顆粒受到此三面流動顆粒的擠壓，呈現全面由上往下流動。
2. 由 E 面觀察得知，C 面與 D 面為兩股較強的往上氣流。
3. 我們分析當孔洞較為分散，整體氣流沒有那麼集中，變得較弱時，容易在上衝的中途被外圍流動的顆粒牽引，造成顆粒在中間層形成上下分流的有趣軌跡。

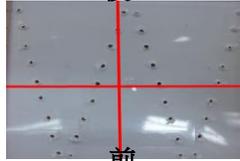
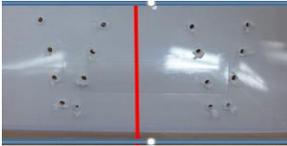
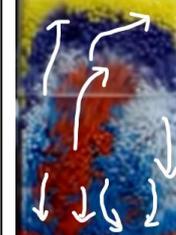
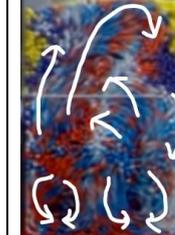
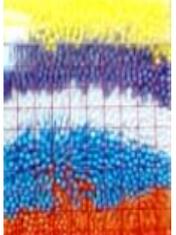
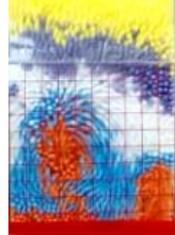
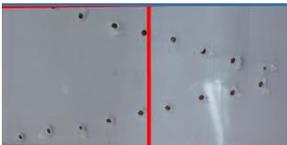
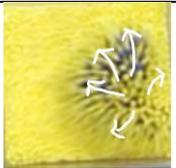
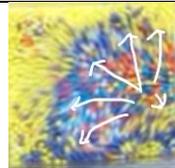
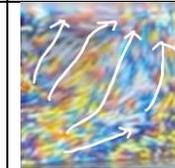
4. 【36洞平均分布外圍】的流化軌跡

	一開始的保麗龍球分布狀況	底部氣孔的分布狀況				
		左	前	右	後	
A. 前面觀察結果		0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
B. 後面觀察結果		0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
C. 左面觀察結果		0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
D. 右面觀察結果		0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
E. 上面觀察結果		0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後

1. 當 36 洞平均分布外圍時，外緣穿孔間距更近，ABCD 四面外圍的氣流噴發強度比第一種 36 洞平均分布底部的更強，都由 2~3 個孔洞合併成強大氣流上衝，並快速吸入周圍顆粒，形成大漩渦的流化軌跡。

2. 由 E 圖上方觀察到 AD 面與 BC 面的交界處氣流較強，形成兩個對角氣流向上湧出，在中央相遇後由中間(無穿孔)對角線下沉。

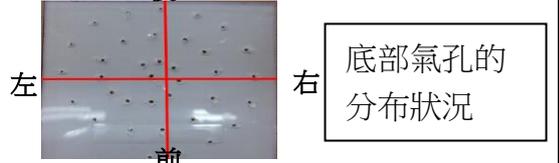
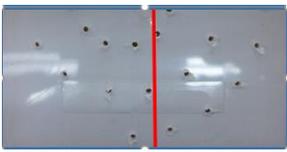
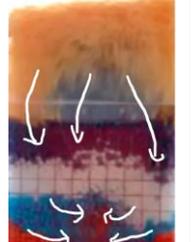
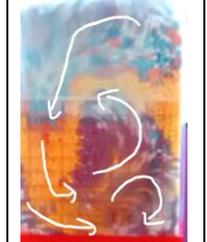
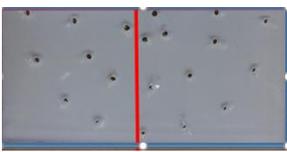
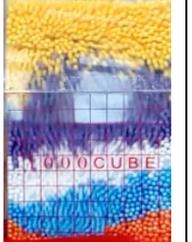
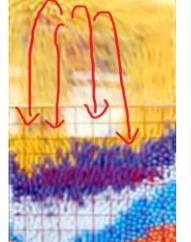
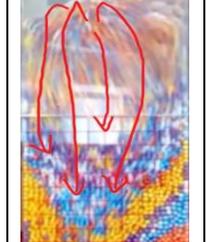
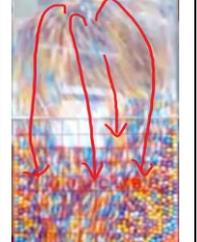
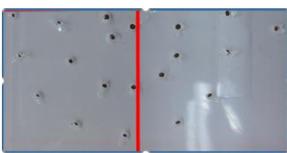
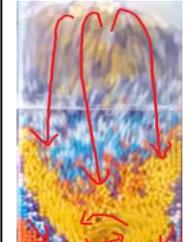
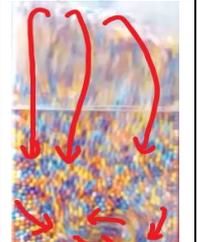
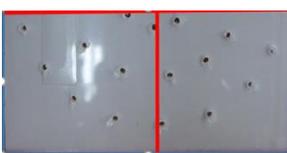
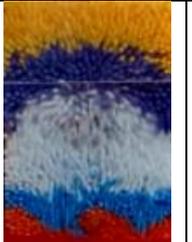
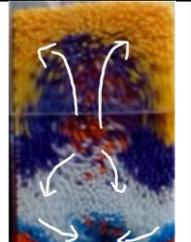
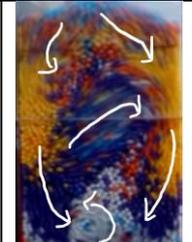
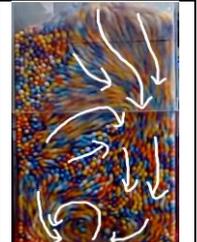
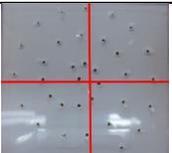
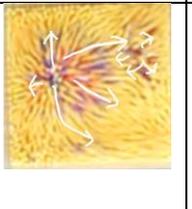
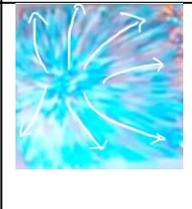
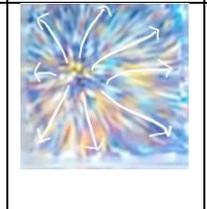
5. 【36 洞排列成 w 型】的流化軌跡

	一開始的保麗龍球分布狀況		 底部氣孔的分布狀況		
A. 前面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 前面氣孔的分布狀況					
B. 後面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 後面氣孔的分布狀況					
C. 左面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 左面氣孔的分布狀況					
D. 右面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 右面氣孔的分布狀況					
E. 上面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 上面氣孔的分布狀況					
1. 由 E 面觀察到 W 形排列會造成氣流衝出的點與流動下沉的方向不斷變動，證明氣流隨時在改變，呈現不穩的狀況。 2. 由側面影像發現，氣流顆粒易從穿孔密集處先突破噴發。之後顆粒不斷湧動並出現大小漩渦，流化軌跡較紊亂也較無一致的方向性，但流化是完整快速的。					

6. 【36洞排列成星形】的流化軌跡

		後				
	一開始的保麗龍球分布狀況	左		右	底部氣孔的分布狀況	
A.前面觀察結果		0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
B.後面觀察結果		0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
C.左面觀察結果		0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
D.右面觀察結果		0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
E.上面觀察結果		0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
<p>1.由側面與上方影像分析，星形排列的氣流，由氣孔較集中的星角位置先突破噴發，顆粒隨氣流往上衝，兩側顆粒會往氣孔噴發的地方遞補，形成多處小漩渦，且顆粒也呈現不斷湧動狀態。</p> <p>2.由上方影像觀察，上升顆粒由多處不定點噴發，顯示流化軌跡也較紊亂且無一致的方向性，但流化是完整快速的。</p>						

7. 【36洞排列成螺旋形】的流化軌跡

	一開始的保麗龍球分布狀況				
A. 前面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 前面氣孔的分布狀況					
B. 後面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 後面氣孔的分布狀況					
C. 左面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 左面氣孔的分布狀況					
D. 右面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 右面氣孔的分布狀況					
E. 上面觀察結果	0.5 秒後	1 秒後	1.5 秒後	2 秒後	10 秒後
 上面氣孔的分布狀況					

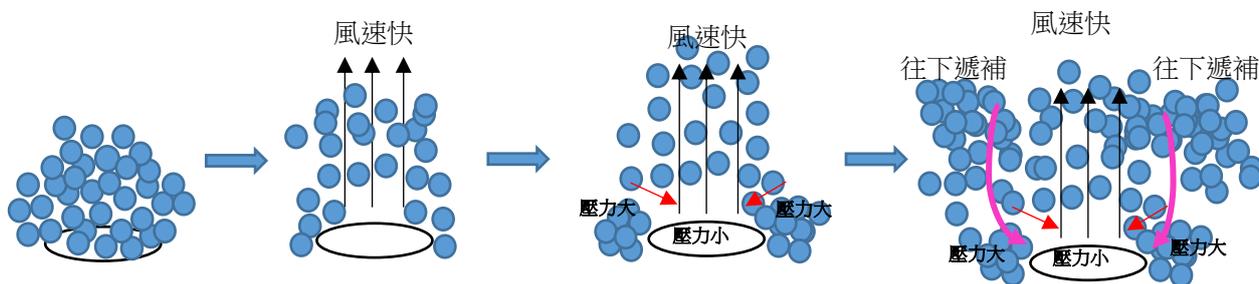
1. 螺旋形的顆粒流動狀況類似 36 洞鬆散散布中央，A 面與 D 面皆出現往上升與往下分流的現象。
2. 中央上衝的氣流較集中與偏向 BC(左後)面【此兩面穿孔數最多】，形成的負壓急速吸進下沉的顆粒，使 B 面與 C 面皆呈現顆粒快速往下流化的軌跡。
3. 中間的氣孔分布最密集，所以由 E 面我們可以觀察到顆粒是穩定持續由中間偏左後面向上湧出，再往四面外圍下降的流化軌跡。

伍、研究討論

- 研究一~三實驗得知：
 - (1). 有沒有流化成功會受到孔洞、沙子、氣流三大因素的影響。
 - (2). 有流化作用時，原本固體的顆粒會因風的流動產生像水一樣的特性，我們利用此特性開發螺帽法與浮標法來測量流化與流化程度。
 - (3). 孔數越少，孔洞越小、孔距太小或太大都會讓氣流太小造成流化效果不佳，孔洞、孔距離與孔大小彼此之間互相影響流化的效果。
- 研究四實驗得知：
 - (1). 沙子顆粒越細(0.2mm 左右)越適合流化，用小孔洞(1mm)就可以達到不錯的流化了。
 - (2). 沙子高度越高整個重量越重，氣流能夠帶動的沙子流動的數量就減少，所以流化效果會隨高度增加而降低。
 - (3). 當沙子潮濕的時候，彼此之間會黏在一起導致空氣無法順利在沙子縫隙之間流動，最後觀察到沙子會整個被頂起來或氣流從最弱的地方突破而衝出表面，無法流化。
 - (4). 氣壓大小會影響流化效果，氣壓太大会造成顆粒激烈翻騰或噴發，氣壓太小顆粒會不動或只微微震動。
- 研究五~六實驗得知：
 - (1). 從流沙下滑速度實驗中得知，當產生流化時，空氣會穿梭在顆粒之間，造成整體顆粒的高度變高，當我們從側面開洞後發現，當空氣與沙子有流化時，從洞裡跑出來的沙子流動速度快，噴發距離遠；而沒有流化時，從洞裡跑出來的沙子流動速度慢，噴發距離近。
 - (2). 全是粗沙時無流化現象，全部細沙時，氣流在沙層流動如大氣泡般，全面流化效果好。上細下粗時，表面翻滾的流沙氣泡更綿密；上粗下細時，粗細交界處會撐出大裂縫；粗細均勻混合時，細沙會從粗砂縫隙向上流竄，然後浮出表面。
- 研究七~八實驗得知：
 - (1). 孔洞排列方式不同，會造成氣流往上噴發位置與強度不同而有不同的流化軌跡。
 - (2). 不同的顆粒所形成的流化軌跡大致相同，但因彩沙密度大、體積小，所以流動較慢較不明顯，以孔洞平均排列底部的流化程度最快最均勻；而小保麗龍球密度小、體積大，所以流動速度快且軌跡清楚，不論孔洞如何排列，都能快速完整的全面流化。

陸、結論

1. 本實驗中流化是指氣體向上噴發氣流時，固體的沙子或小保麗龍球產生流動，使原本固態不動的顆粒變得像液態一樣的狀態，最佳流化則是表面出現泡泡型或翻滾型的狀態。
2. 造成流化的原因，如下圖所示，原本沒有氣流時，固體沙粒平均分布在氣孔上，當氣流由氣孔往上噴發時，固體顆粒被氣流帶往上移動，氣流穿梭在顆粒間，導致顆粒之間的距離變大，因為當氣流由氣孔流出時風速快壓力小，所以靠近氣孔的顆粒壓力大，被吸往氣孔後又往上噴發，當底部周圍的沙子被吸往氣孔後，上層沙子就往下遞補，如此一直循環流動。



3. 影響流化的因素有：孔洞【孔數量(36洞最佳)、孔距離(2公分最佳)、孔大小(2mm最佳)】、氣壓大小、固體顆粒種類【不同的顆粒(密度大的沙子或密度小的保麗龍球)、顆粒大小(0.2mm最佳)、顆粒含水量(完全乾燥最佳)、顆粒高度(10公分最佳)】。
4. 可以藉由孔洞、氣壓、固體顆粒的交互微調來改變不同的流化程度。例如:研究三實驗中36洞、孔距1mm、孔洞1mm原本是無動型(沒有流化)，我們可以將沙子從原本的中沙、換成細沙，並加大氣壓，就可以改變流化變成翻滾型。

	當流化不佳時往右邊調整 				
	← 當流化太強造成噴飛時往左調整				
孔數	1洞	4洞	9洞	16洞	25洞
孔距	0.5mm	1mm	1.2mm	1.5mm	2mm
孔大小	0.5mm	1mm	1.5mm	2mm	2.5mm
沙顆粒	粗沙(0.8mm)	中沙(0.5mm)	細沙(0.2mm)	超細細沙(小於0.1mm)	小保麗龍球
沙高度	25公分	20公分	15公分	10公分	5公分
氣壓	小	小中	中	中大	大

5. 我們由36洞不同排列模式的顆粒流動軌跡歸納出：
- (1). 當底部氣孔的分布較密集(螺旋形的中央偏左後)(36洞全部分布外圍)或集中(36洞集中在中央)時，氣流向上流動較強烈且快速，所以這些分布的區域顆粒都是往上流動的趨勢。而底部沒有氣孔或分布較鬆散的區域，相對是壓力較大的地方，我們觀察到的都是顆粒會往強氣流的方向移動，白努力的流體力學現象非常明顯。
 - (2). 若每一觀察面的底部氣孔排列較混亂沒有平均或對稱時(w型、星型)，整體的氣流就會隨時在改變，比較沒有穩定的狀態，流化軌跡較紊亂。
 - (3). 當氣孔分布在中央但比較鬆散時，整體氣流不如36洞集中中央時強烈，因此當氣流向上噴發時沒有足夠的力量將顆粒直接向上噴發至頂層表面，反而被顆粒所阻擋，造成中央氣流的外圍顆粒在中間層產生上下分流現象，中間偏上的顆粒持續被推擠向上流動，底層顆粒則被底部強氣流吸引而向下流動，分流的軌跡超有趣。
6. 彩沙與保麗龍球流動軌跡與流動程度的比較。

相同的現象	不同的現象
兩種顆粒在相同孔洞排列下的流動軌跡都相近。36洞平均分布氣流都由底層均勻突破向上衝出；36洞集中中央都由正中央突破；36洞鬆散分布氣流由側面中間突破，形成上下分流的現象；36洞分布外圍的氣流都是外圍流化效果最好。只是因為顆粒種類的不同，造成氣流在推動顆粒時，流動速度快慢的不同。	<ol style="list-style-type: none"> 1.彩沙重量重、體積小、密度大，所以只有在氣孔上或氣孔附近有產生噴發或流動現象且流化速度較慢。 2.保麗龍球重量輕、體積大、密度小，都能全面流化且快速明顯。 3.保麗龍球不管是哪一種孔洞排列模式，流化程度皆很好，但彩沙很明顯每一種排列模式的流化程度皆不同，以36洞平均分布最佳。

柒、參考資料

- 一、日本神奇砂 <https://www.facebook.com/watch/?v=10156954098798273>
- 二、前美國太空人宇航局工程師 Mark Rober 自製流體沙 <https://www.youtube.com/watch?v=My4RA5I0FKs>
- 三、流化床原理 <https://ejournal.stpi.narl.org.tw/sd/download?source=10409-02.pdf&vId=23BE2E23-AAB9-4155-9661-A394DCFE427D&nd=1&ds=1>
- 四、國家教育研究院辭書 <https://pedia.cloud.edu.tw/Entry/Detail/?title=%E6%B5%81%E9%AB%94%E5%8C%96%E5%BA%8A>

【評語】 080108

流沙液化現象是網路上被熱烈討論的科學現象，本研究利用壓克力盒、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找最佳的顆粒流化現象。研究結果發現影響顆粒流化有三種主因：孔洞大小、顆粒大小、氣流強度，研究團隊自行訂定流化程度量測之操作型定義、開發多項觀察流化運動的工具。此外，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亦很有效。建議能將流化現象連結自然現象，以擴展實驗結果的應用價值。

摘要

本研究利用壓克力盒、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找最佳的顆粒流化現象，發現影響顆粒流化有三種主因：

1. 孔洞大小：直徑 2mm，孔與孔之間的距離為 2 公分為最佳，面積越大則孔數越多，
孔數=(長/2)+1*(寬/2)+1。
2. 顆粒：必須使用完全乾燥的沙子(顆粒大小為 0.2~0.5mm 之間)或小保麗龍球，顆粒高度 5~25 公分，無法使用綠豆、鹽、糖、麵粉等物品來代替。
3. 氣流強度：氣壓大小需適中，太大會造成顆粒激烈翻騰或噴發，太小顆粒會不動或只微微震動。

最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。

壹、研究動機

有一次在 FB 上面看到日本科學實驗影片，影片中原本堅硬的沙子突然就變成了像水一樣可以流動，引起了我們的好奇心，想知道是什麼原因造成這種現象。於是展開了這個的研究。想要做出和火影忍者卡通主角我愛羅一樣的超厲害流沙忍術。

貳、研究目的

- 一、設計流化床實驗模型與測量有無流化的方法
- 二、探討流化的原因與現象
- 三、探討「孔數量、孔距離、孔大小」彼此間對流化的影響
- 四、探討「顆粒大小、沙子高度、沙子含水量、氣壓大小」對流化的影響
- 五、探討有無流化對「流沙下滑速度、體積變化」的影響
- 六、探討「粗沙與細沙不同混沙模式」對氣流噴發狀況與流化程度的影響
- 七、利用分層彩沙探討不同孔洞模式的流化軌跡與流化程度的變化
- 八、探討密度小的顆粒(小保麗龍球)的流化軌跡變化

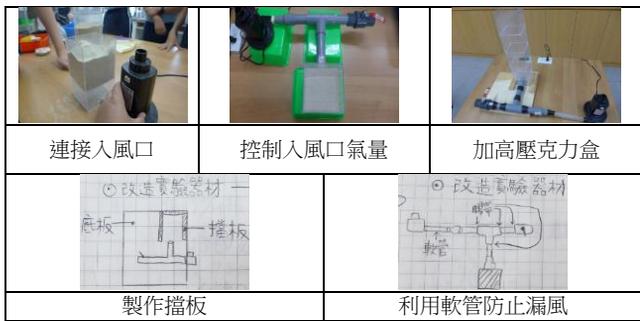
參、研究設備及器材



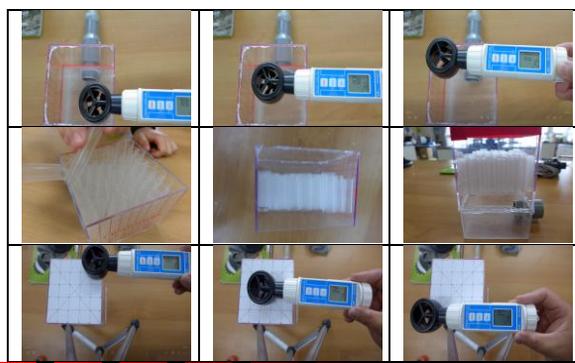
肆、研究過程

【研究一】設計流化床實驗模型與測量有無流化的方法

壓克力盒流化床-主體開發



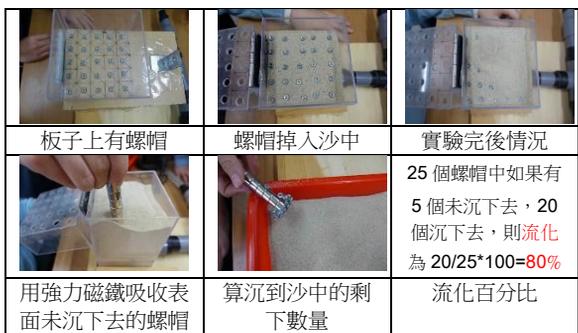
壓克力盒流化床-風力的檢測與整流



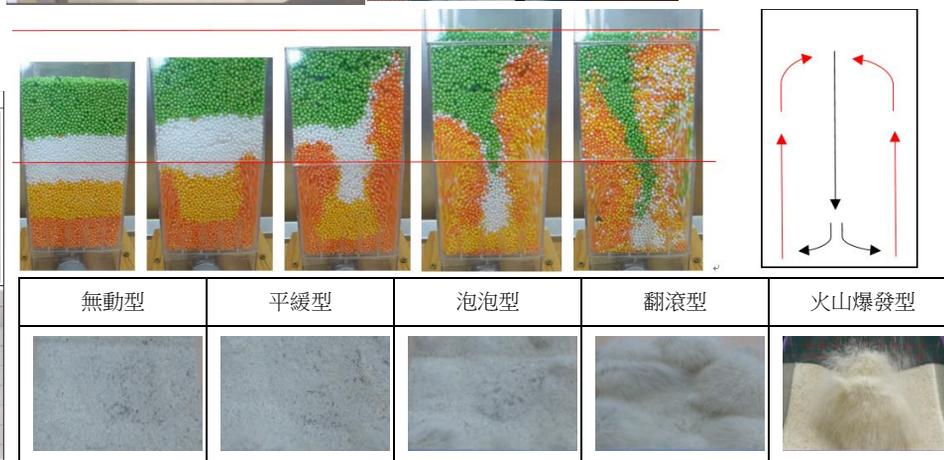
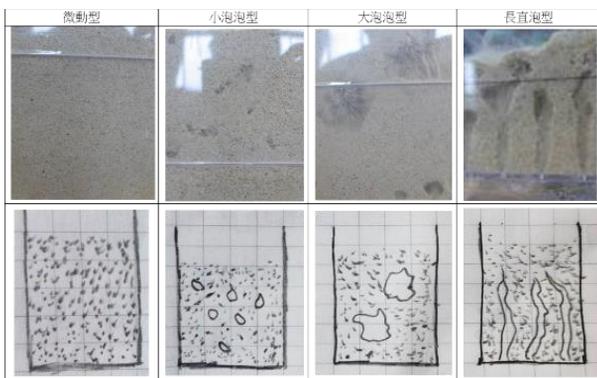
	入風口		
1.7m/s	0.1 m/s	1.3 m/s	
0.1 m/s	0.3 m/s	0.3 m/s	
1.6 m/s	0 m/s	1.4 m/s	

	入風口		
3.6m/s	3.3 m/s	3.5 m/s	
3.8m/s	3.4 m/s	3.4m/s	
3.7m/s	3.5 m/s	3.8 m/s	

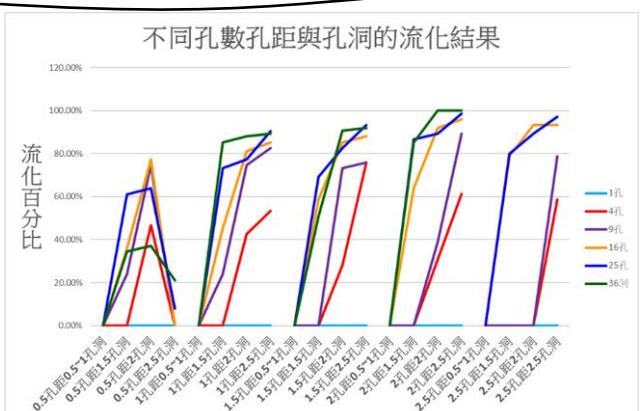
螺帽法-最佳方法



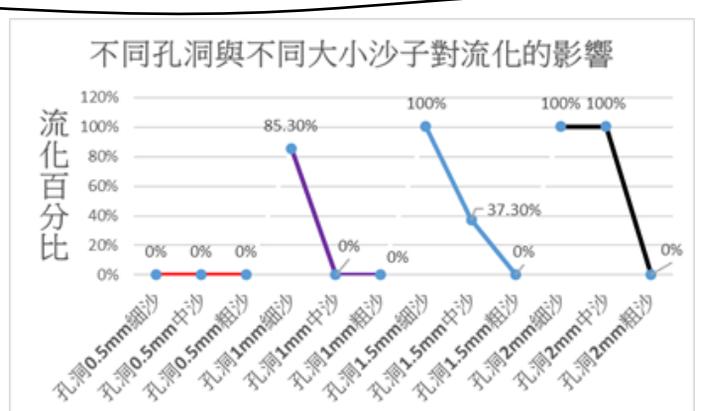
【研究二】探討流化的原因與產生的現象



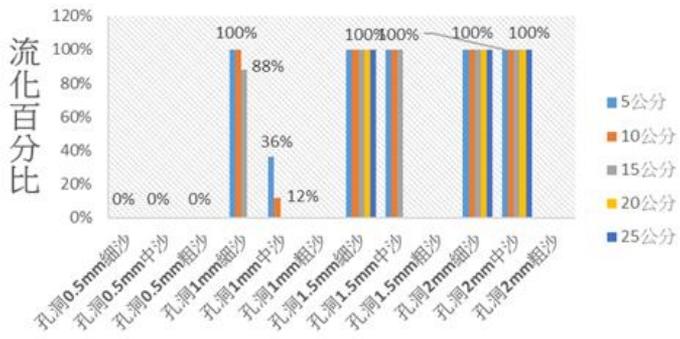
【研究三】探討「孔數量、孔距離、孔大小」彼此間對流化的影響



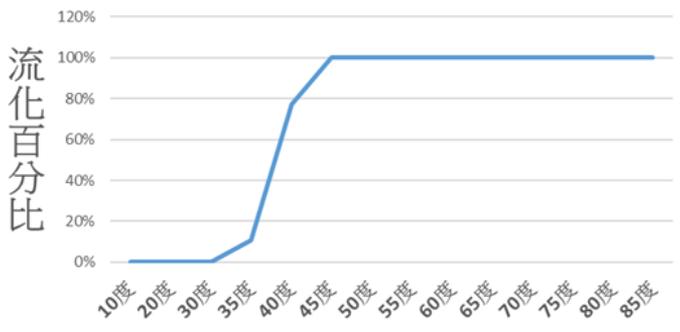
【研究四】探討「顆粒大小、沙子高度、沙子含水量、氣壓大小」對流化的影響



不同孔洞與不同沙子高度對流化的影響



不同的風壓大小造成的流化程度



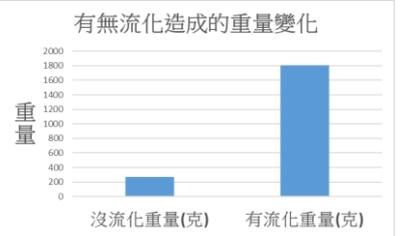
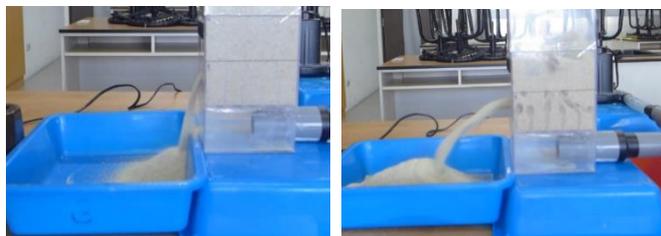
【研究六】探討「粗沙與細沙不同混沙模式」對氣流噴發狀況與流化程度的影響



混沙模式	氣流噴發狀況	流化程度(浮標圖)	3次浮標平均下降高度 (cm)
全粗沙	粗沙不動，無流化	浮標未下沉，全倒	平均下降 0 公分
全細沙	細沙上衝，有大氣泡	浮標全面下陷深	平均下降 5.79 公分
上細沙下粗沙	細沙上衝，有小氣泡	浮標下陷細沙層	平均下降 3.22 公分
上粗沙下細沙	粗細沙交界處有裂縫	浮標只 4 支下沉	平均下降 0.56 公分
粗細混和沙	細沙往上流動浮出	浮標只 5 支下沉	平均下降 0.42 公分

	全乾	3/4 乾+1/4 濕	1/2 乾+1/2 濕	1/4 乾+3/4 濕	潮濕
第一次	25	0	0	0	0
第二次	25	0	0	0	0
第三次	25	0	0	0	0
平均	25	0	0	0	0
流化百分比	100%	0%	0%	0%	0%

【研究五】探討有無流化對「流沙下滑速度、體積變化」的影響



沙子高度	流化後的高度	增加的體積(空氣的體積)	沙子高度	流化後的高度	增加的體積(空氣的體積)
5 公分	10 公分	10*10*0.4=40 立方公分(每公分平均增加 8 立方公分)	10 公分	13 公分	10*10*1.3=130 立方公分(每公分平均增加 13 立方公分)
15 公分	20 公分	10*10*1.9=190 立方公分(每公分平均增加 12.6 立方公分)	20 公分	20 公分	10*10*2=200 立方公分(每公分平均增加 10 立方公分)
25 公分	30 公分	10*10*2.1=210 立方公分(每公分平均增加 8.4 立方公分)	30 公分	30 公分	10*10*0=0 立方公分(每公分平均增加 0 立方公分)

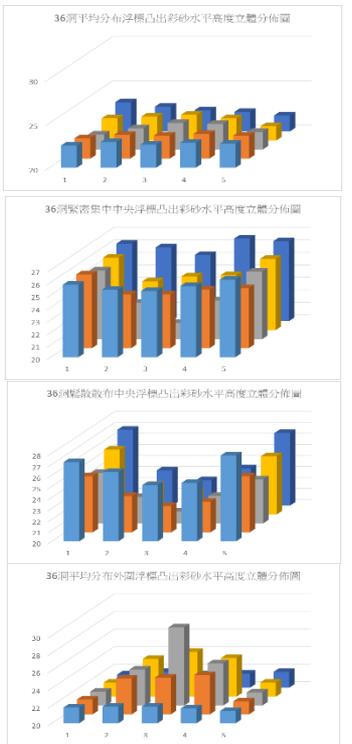
【研究七】利用分層彩沙探討不同孔洞模式的流化軌跡與流化程度的變化

1. 【36 洞平均分布底部】的流化程度與軌跡

25 個浮標
3 次平均下降高度 (cm)

7.5	7.7	8.3	7.5	6.7
7.1	7.3	7.6	7.3	7.2
7.4	7.4	7	7.1	7.6
7.2	7.2	7.1	7.5	7.8
7.3	7.4	8	8.4	8.2

平均下降 7.47 公分



2. 【36 洞緊密集中在中央】的流化程度與軌跡

25 個浮標
3 次平均下降高度 (cm)

4.2	4.6	4.7	4.3	3.8
4.1	5.7	5.7	5.3	5.2
4.5	7.1	8.7	6.9	4.6
4.2	6.1	5.7	5.6	4.3
3.8	4.1	4.7	3.4	3.6

平均下降 4.99 公分

3. 【36 洞鬆散分布在中央】的流化程度與軌跡

25 個浮標
3 次平均下降高度 (cm)

2.8	3.7	4.9	4.7	2.2
4.9	6.7	7.6	7.2	4.9
5.4	7.6	8.9	7.5	6
4.1	7.3	7.9	7.7	4.7
3.1	6.8	7.7	6.6	3.4

平均下降 5.77 公分

4. 【36 洞平均分布外圍】的流化程度與軌跡

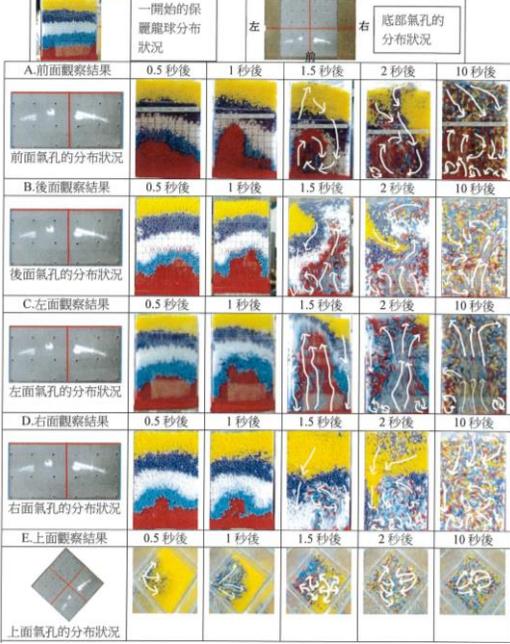
25 個浮標
3 次平均下降高度 (cm)

8.2	8.1	8.1	8.3	8.6
8.3	5.9	5.8	5.5	8.5
8.4	5.9	1.1	5.2	8.5
8.4	5.7	4.9	5.6	8.4
8.5	8.2	8.5	8.4	8.2

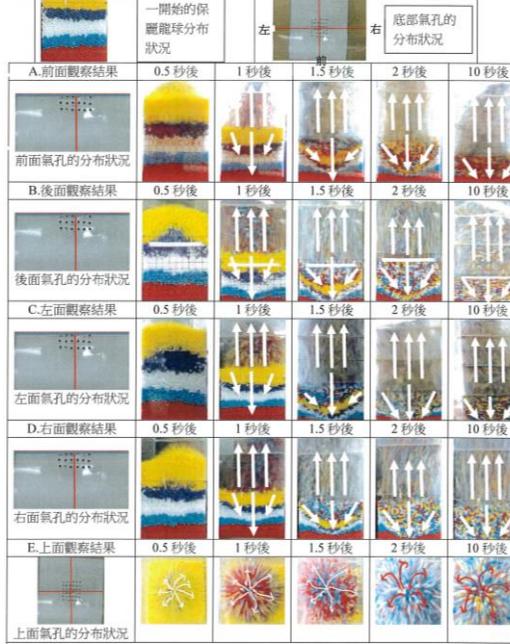
平均下降 7.16 公分

【研究八】探討密度小的顆粒(小保麗龍球)的流化軌跡

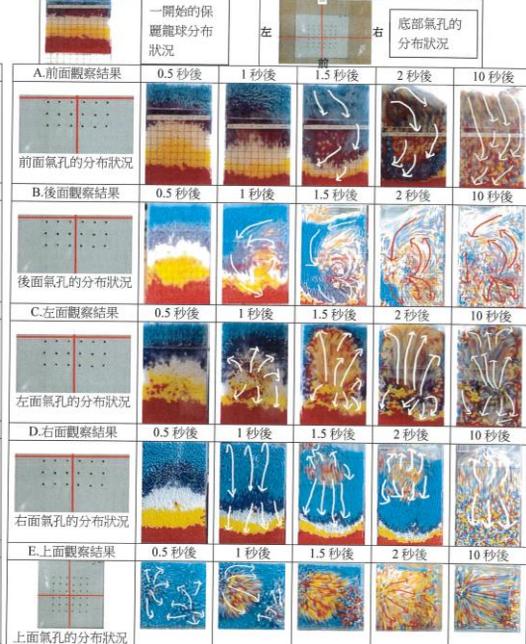
1. 【36 洞平均分布底部】的流化軌跡



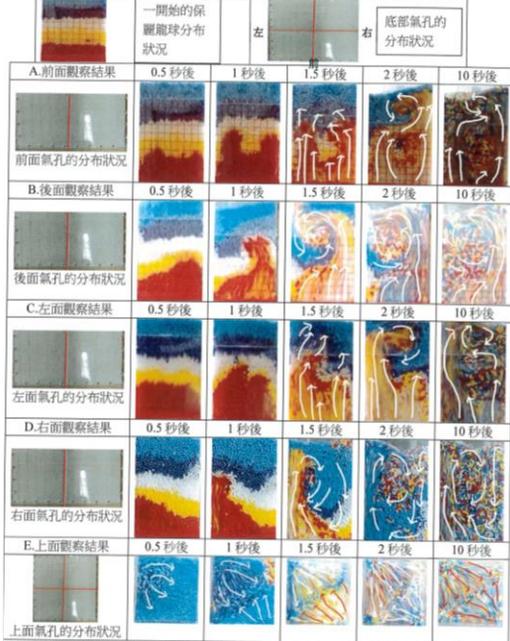
2. 【36 洞密集集中在中央】的流化軌跡



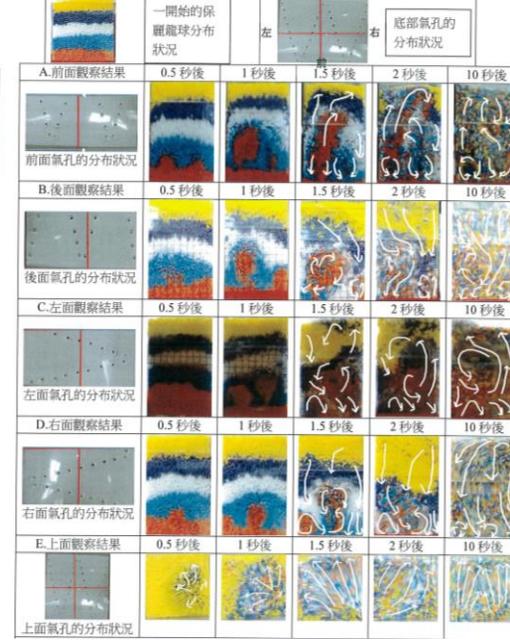
3. 【36 洞鬆散分布中央】的流化軌跡



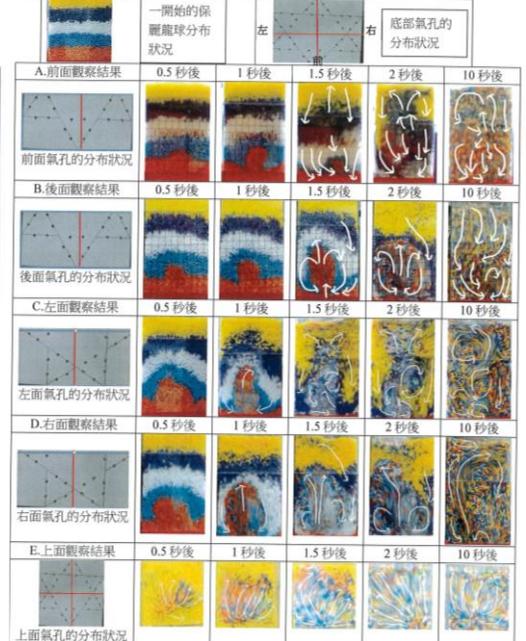
4. 【36 洞平均分布外圍】的流化軌跡



5. 【36 洞排列成w型】的流化軌跡



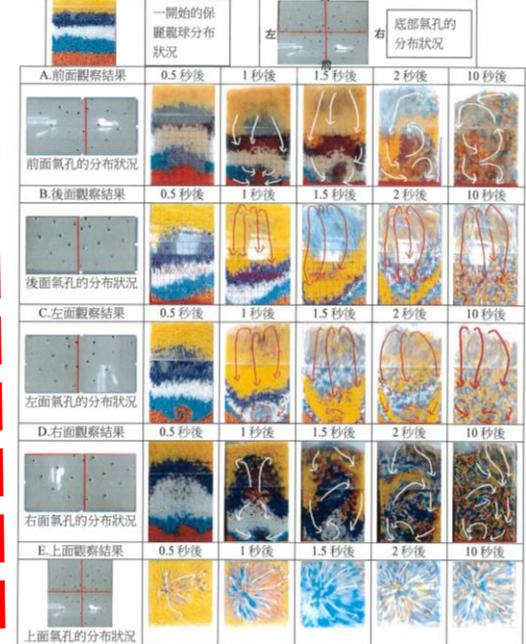
6. 【36 洞排列成星形】的流化軌跡



伍、研究討論

- 研究一~三實驗得知：
 - 有沒有流化成功會受到孔洞、沙子、氣流三大因素的影響。
 - 孔數越少，孔洞越小、孔距太小或太大都會讓氣流太小造成流化效果不佳，孔洞、孔距離與孔大小彼此之間互相影響流化的效果。
- 研究四實驗得知：
 - 顆粒越細(0.2mm 左右)越適合流化，1mm 孔洞就可達到不錯的流化。
 - 沙子高度越高整個重量越重，氣流能夠帶動的沙子流動的數量就減少，所以流化效果會隨高度增加而降低。
- 研究五~六實驗得知：
 - 全是粗沙時無流化現象，全部細沙時，氣流在沙層流動如大氣泡般，全面流化效果好。上細下粗時，表面翻滾的流沙氣泡更綿密；上粗下細時，粗細交界處會撐出大裂縫；粗細均勻混合時，細沙會從粗砂縫隙向上流竄，然後浮出表面。
- 研究七~八實驗得知：
 - 孔洞排列方式不同，會造成氣流往上噴發位置與強度不同而有不同的流化軌跡。
 - 不同的顆粒的流化軌跡大致相同，但因彩沙密度大、體積小，所以流動較慢較不明顯，以孔洞平均排列底部的流化程度最快最均勻；而小保麗龍球密度小、體積大，所以流動速度快且軌跡清楚，不論孔洞如何排列，都能快速完整的流化。

7. 【36 洞排列成螺旋形】的流化軌跡



不論孔洞如何排列，都能快速完整的流化。

陸、結論

- 本實驗中流化是指氣體向上噴發氣流時，固體的沙子或小保麗龍球產生流動，使原本固態不動的顆粒變得像液態一樣的狀態，最佳流化則是表面出現泡泡型或翻滾型的狀態。
- 造成流化的原因，如下圖所示，原本沒有氣流時，固體沙粒平均分布在氣孔上，當氣流由氣孔往上噴發時，固體顆粒被氣流帶往上移動，氣流穿梭在顆粒間，導致顆粒之間的距離變大，因為當氣流由氣孔流出時風速快壓力小，所以靠近氣孔的顆粒壓力大，被吸往氣孔後又往上噴發，當底部周圍的沙子被吸往氣孔後，上層的沙子就往下遞補，如此一直循環流動。
- 影響流化的因素有：孔洞【孔數量(36 洞最佳)、孔距離(2 公分最佳)、孔大小(2mm 最佳)】、氣壓大小、固體顆粒種類【不同的顆粒(密度大的沙子或密度小的保麗龍球)、顆粒大小(0.2mm 最佳)、顆粒含水量(完全乾燥最佳)、顆粒高度(10 公分最佳)】。
- 我們由 36 洞不同排列模式的顆粒流動軌跡歸納出：
 - 當底部氣孔的分布較密集(螺旋形的中央偏左後)(36 洞全部分布外圍)或集中(36 洞集中在中央)時，氣流向上流動較強烈且快速，所以這些分布的區域顆粒都是往上流動的趨勢。而底部沒有氣孔或分布較鬆散的區域，相對是壓力較大的地方，我們觀察到的都是顆粒會往強氣流的方向移動，白努力的流體力學現象非常明顯。
 - 若每一觀察面的底部氣孔排列較混亂沒有平均或對稱時(w 型、星型)，整體的氣流就會隨時在改變，比較沒有穩定的狀態，流化軌跡較紊亂。
- 當氣孔分布在中央但比較鬆散時，整體氣流不如 36 洞集中中央時強烈，因此當氣流向上噴發時沒有足夠的力量將顆粒直接向上噴發至頂層表面，反而被顆粒所阻擋，造成中央氣流的外圍顆粒在中間層產生上下分流現象，中間偏上的顆粒持續被推擠向上流動，底層顆粒則被底部強氣流吸引而向下流動，分流的軌跡超有趣。

