

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

佳作

032920

底泥出清—阿基米德螺旋汲水器在水庫清淤上的運用

學校名稱：新北市立文山國民中學

作者： 國二 黃澄心 國二 廖宣燁 國二 趙寅壯	指導老師： 賴瑋倩 周瑞玲
---	-----------------------------

關鍵詞：阿基米德螺旋汲水器、水庫清淤

摘要

為探討阿基米德螺旋汲水器汲取淤泥的效果，我們設計出四組長為50公分的螺旋，分別以螺旋內外半徑比、葉片數、裝置傾角、泥水比例和轉速為操縱變因，進行實驗。

實驗結果顯示，螺旋內外**半徑比**以1/2的汲泥效果最佳；**葉片數**以三葉片螺旋的效能較高；汲水裝置**傾角**則是傾角愈大汲取量愈少；**泥水比例**以泥水比為2：1的汲取量高於泥水比1：1的；**轉速**以120 rpm的汲取量優於60 rpm，且能突破傾角40°無法汲起淤泥的限制。

實驗中亦發現，只要水位高過螺旋前端的第一個腔室，即可順利汲取泥水；以汲泥效果最佳的數據估算，每24小時可汲起8公噸左右的淤泥。若利用本實驗成果進一步研發，有望成為在水庫積淤區域進行抽淤的利器。

壹、研究動機

臺灣水庫淤積嚴重，嚴重影響水庫防洪蓄水功能。以兼具灌溉、防洪、發電及民生用水供應的臺灣第三大水庫—石門水庫為例，於民國 52 年 5 月開始蓄水時的原始設計水量為 3 億 912 萬立方公尺，然其蓄水範圍截至民國 106 年 11 月止，累積淤積量已達 10,713 萬立方公尺，淤積率約百分之 34.66%，年平均淤積量為235 萬立方公尺。每年平均的入砂量多達 34 2 萬立方公尺，每年平均清淤量 254 萬立方公尺（含水力排砂 190 萬立方公尺、預估即將啟用的阿姆坪隧道 64 萬立方公尺），清淤的速度趕不上淤積的速度，淤泥清不勝清。

在獨立研究課尋找適合的科展題目時，有個主題引起我們的興趣，那就是阿基米德螺旋汲水器。資料中提到兩千多年前已被發明作為灌溉之用，後來用途擴展至搬運廢水、食物、垃圾、木屑、飼料、灰燼等等，在臺灣也不乏在水果的輸送、揀選或壓克力塑膠原料製程的輸送上看到它的身影。

同學靈光一閃，想到七上地理介紹過的梳子壩和水庫集水區的水土保持：「阿基米德螺旋汲水器有沒有可能用來抽取水庫的淤泥？它會比其他現有的抽淤裝置更有成效嗎？」含水量高的淤泥比起木屑、飼料等，附著力高，重量也更重，我們預測會與平常所知的阿基米德螺旋汲水器的承載運送效果不一樣。

於是，我們展開了一連串的发問與探討。

貳、研究目的

一、螺旋內外半徑比 (R_1/R_2 ，簡稱半徑比) 對於抽淤量的影響

(一)、半徑比二分之一 ($1/2 R$) 的抽淤量

(二)、半徑比四分之一 ($1/4 R$) 的抽淤量

二、螺旋葉片數 (N) 對於抽淤量的影響

(一)、二葉片的抽淤量

(二)、三葉片的抽淤量

三、汲水器傾斜角度對抽淤量的影響

(一)、20度

(二)、30度

(三)、40度

四、泥比水比例 (質量比) 對抽淤量的影響

(一)、1:1

(二)、2:1

五、轉速對抽淤量的影響

(一)、每分鐘60轉

(二)、每分鐘120轉

參、研究設備及器材

一、一般器材

			
石門水庫淤泥 40 公斤	電子秤	燒杯、量筒、漏斗	馬鈴薯泥攪拌器

			
水槽 $100 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$	6I6P-1馬達 (6W 1800轉)	6A30 減速機 (減速比 30，搭配後 為 60 rpm)	6A15減速機 (減速比 15，搭配後 為 120 rpm)
			
3D印表機：Da Vinci 1.0	No.5B定量濾紙 (濾徑 $4 \mu\text{m}$)、 No.2定性濾紙 (濾徑 $5 \mu\text{m}$)	游標尺	軟體：Onshape、 XYZware

表 1 實驗器材一覽表

二、自行設計之器材－阿基米德螺旋汲水器：

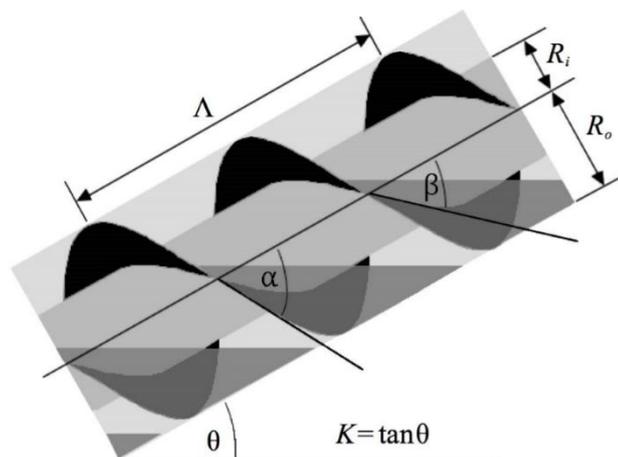


圖 1 阿基米德螺旋的剖面圖

如上圖 1，這是我們實驗主體，阿基米德螺旋的基本結構。 Λ （螺距）指相鄰的同個葉片之間的軸向距離； θ （傾角）為汲水器底部與地面的夾角； R_i （內半徑）是桿軸的中心到桿軸的外側、葉片內側邊緣； R_o （外半徑）指桿軸的中心到葉片外側邊緣；半徑比為內半徑與外半徑的比例。

（一）、塑膠 3D 列印阿基米德螺旋汲水器：

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
成品照片				
內半徑	2.1 公分	1.1 公分	2.1 公分	1.1 公分
外半徑	4 公分	4 公分	4 公分	4 公分
半徑比	1 : 2	1 : 4	1 : 2	1 : 4
長度	20 公分	20 公分	20 公分	20 公分
葉片數	2 片	2 片	3 片	3 片
螺距	9.6 公分	9.6 公分	9.6 公分	9.6 公分

表 2 3D 列印的四組阿基米德螺旋規格一覽表

（二）、委託廠商製作的金屬阿基米德螺旋汲水器：

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
照片				
內半徑	2 cm	1 cm	2 cm	1 cm
外半徑	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm

半徑比	1 : 2	1 : 4	1 : 2	1 : 4
長度	50 cm	50 cm	50 cm	50 cm
葉片數	2 片	2 片	3 片	3 片
螺距	9.94cm	9.94cm	9.94cm	9.94cm

表3 四組金屬阿基米德螺旋規格一覽表

肆、研究過程及方法

一、研究架構

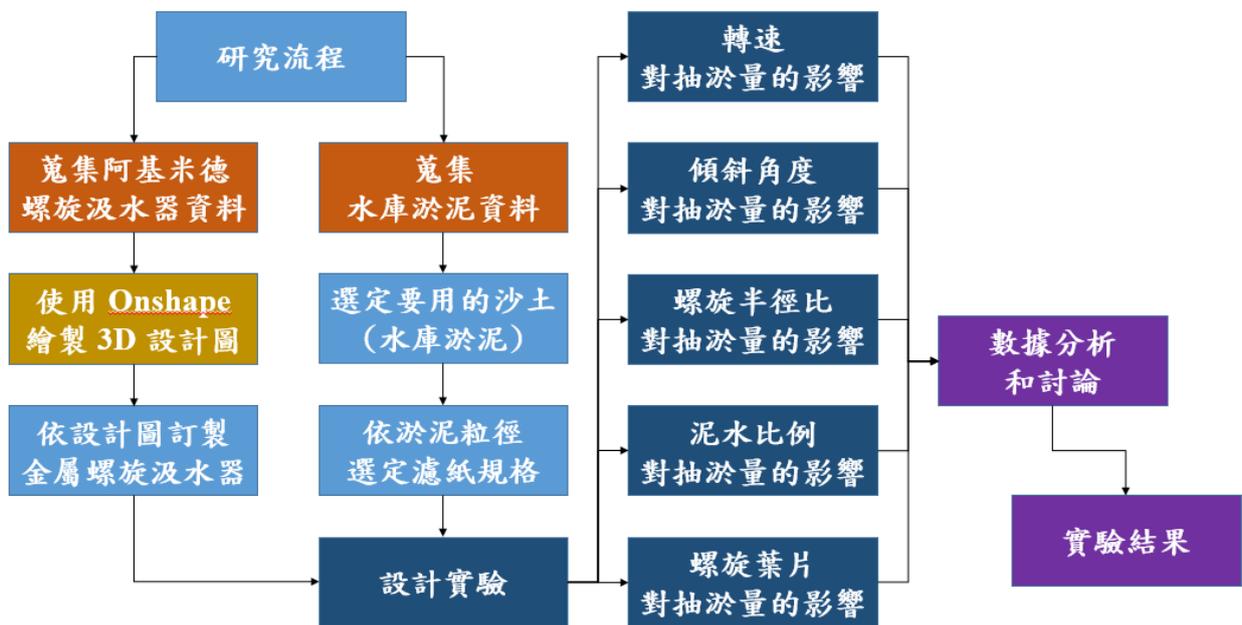


圖2 研究流程圖

二、文獻資料蒐集

我們先研讀網路上關於阿基米德螺旋汲水器的研究及報告，以及從經濟部水利署的相關報告瞭解臺灣各大水庫的淤積現況及現有的清淤方式。

1. 阿基米德螺旋的原理

阿基米德螺旋汲水器的原理是，當施力物帶動螺旋軸旋轉時，藉著螺旋曲面繞著旋轉軸旋轉，螺桿一方面繞本身的軸線旋轉，另一方面它又沿襯套內表面滾動，於是形成泵的密封腔室。螺桿每轉一周，密封腔內的液體向前推進一個螺距，隨著螺桿的連續轉動，液體以螺旋形方式從一個密封腔壓向另一個密封腔，最後擠出泵體。

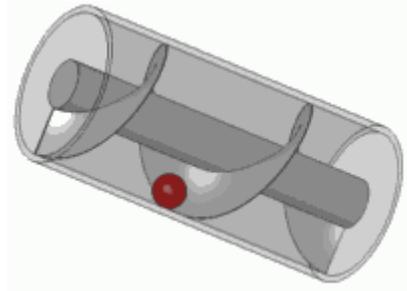


圖 3 螺旋汲取物品時透視圖

2. 關於臺灣水庫的淤積量及水庫淤泥不同粒徑區間的重量分佈情形

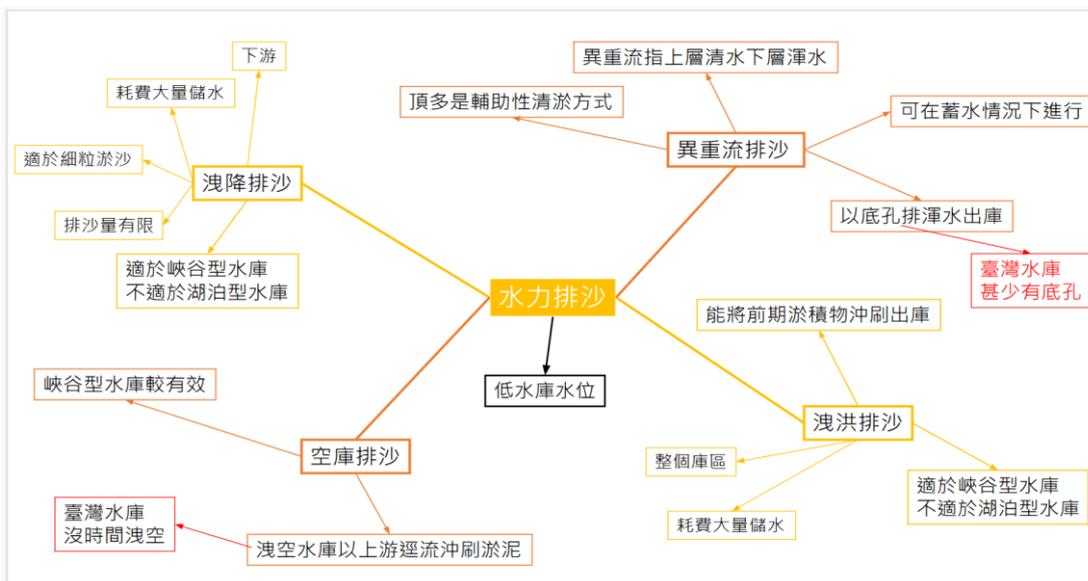
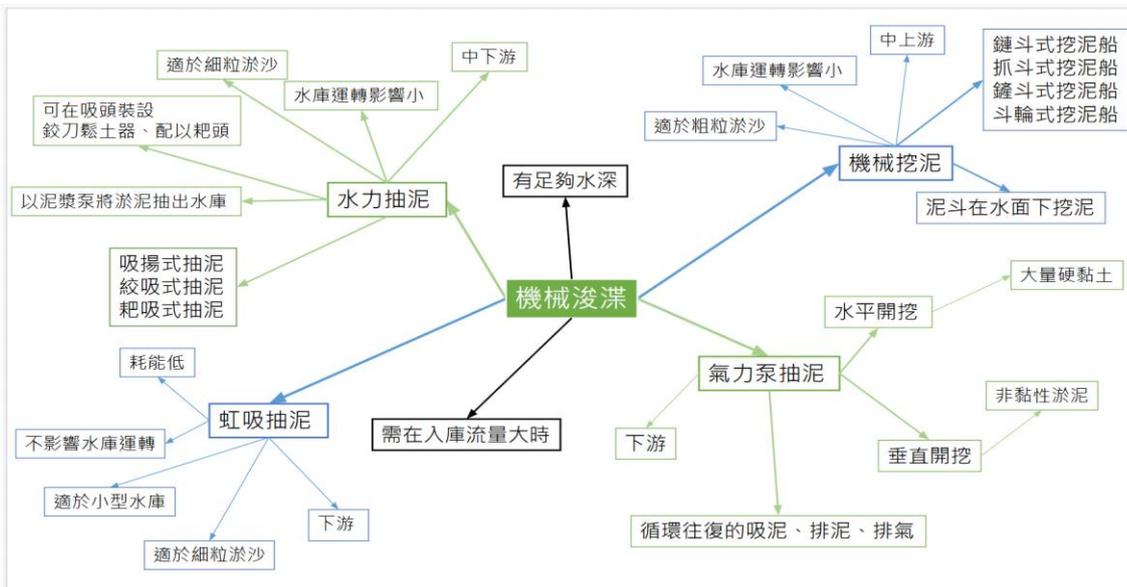
水庫	原蓄水量	現在蓄水量	淤積量	$\frac{\text{淤積量}}{\text{原蓄水量}}$
翡翠水庫	$4.06 \times 10^8 \text{ m}^3$	$3.3412 \times 10^8 \text{ m}^3$	$7.188 \times 10^7 \text{ m}^3$	17.7%
石門水庫	$3.0912 \times 10^8 \text{ m}^3$	$2.0315 \times 10^8 \text{ m}^3$	$1.0597 \times 10^8 \text{ m}^3$	34.3%
曾文水庫	$7.08 \times 10^8 \text{ m}^3$	$5.0897 \times 10^8 \text{ m}^3$	$1.9903 \times 10^8 \text{ m}^3$	28.1%

表 4 三大水庫淤積量比較表

粒徑區間 (μm)	石門水庫 (wt%)	曾文水庫 (wt%)	白河水庫 (wt%)
150—37	1.8	50.7	4.9
37—5	43.1	31.8	43.6
5—2	19.5	9.7	16.7
<2	35.6	7.8	34.8

表 5 粒徑區間分布圖

3. 水庫淤積常見的清淤方式



(經濟部水資源局。《水庫清淤方法分析規範》7~13頁。經本文作者重新製圖)



圖 4、5、6、7 台灣水庫常見的清淤方式及機械浚渫示意圖

三、材料準備、製作過程

因為阿基米德螺旋汲水器不常見，幾乎沒有零售品販賣，市面上販賣的只有真正具工業用途的巨型尺寸，而且比例、螺旋傾角被固定，無法根據我們的實驗需求輕易更改參數與設計。一開始，我們是使用 3D 列印機來製造我們的阿基米德螺旋汲水器，能夠自由改變設計參數是其優點。然而在以3D 列印機印製阿基米德螺旋模型時，我們發現列印機的原料多是 PLA（聚乳酸）和 ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物），有著我們無法接受的問題。PLA（聚乳酸）無法長期浸泡在水中，不適合我們泥水充斥的實驗環境；ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物）雖然強度、性能皆非常優異，然而在我們一般的 3D 列印機所提供的塑型方式為FDM（融熔層積成型），係一層層堆疊上去，或有層層間的縫隙，在整體結構上無法將 ABS性質表現出來；而金屬 3D 列印價格昂貴，則是超出我們的預算，所以最後我們折衷，決定將 3D 列印（材質為 ABS）做出的阿基米德螺旋汲水器模型用於初步測試，在確定設計出的模型可以操作後，請鐵工廠參考上述這些模型，按照我們繪製的設計圖，製造出相同規格、比例的不鏽鋼阿基米德螺旋汲水器。

阿基米德螺旋汲水器模型的 3D 設計圖，我們是採用線上註冊軟體 Onshape 設計，以軟體XYZware 將阿基米德螺旋汲水器設計圖轉入 3D 印表機，再列印出成品。

在進行第一版的螺旋列印時，因為學校的 3D 印表機解析度不高，我們商請 Fablab 臺北自造實驗室幫我們印製一組內部的螺旋模型，同時使用學校現存的 3D 印表機印製外部的圓筒。起初印製模型時，發現葉片的參數部份發生錯誤（沒有厚度），導致無法做出我們想要的成品，在發現問題後加以改正，共印製出 4 組螺旋。



四、學習使用設計軟體Onshape設計實驗用螺旋

Onshape是一套免費的線上3D繪圖軟體，其允許線上協同設計的特性，讓我們自初學入門時就可一起繪圖，就同一件作品討論、修改設計圖，提升設計效率，我們使用它繪製出阿基米德螺旋、U形槽及其支架。

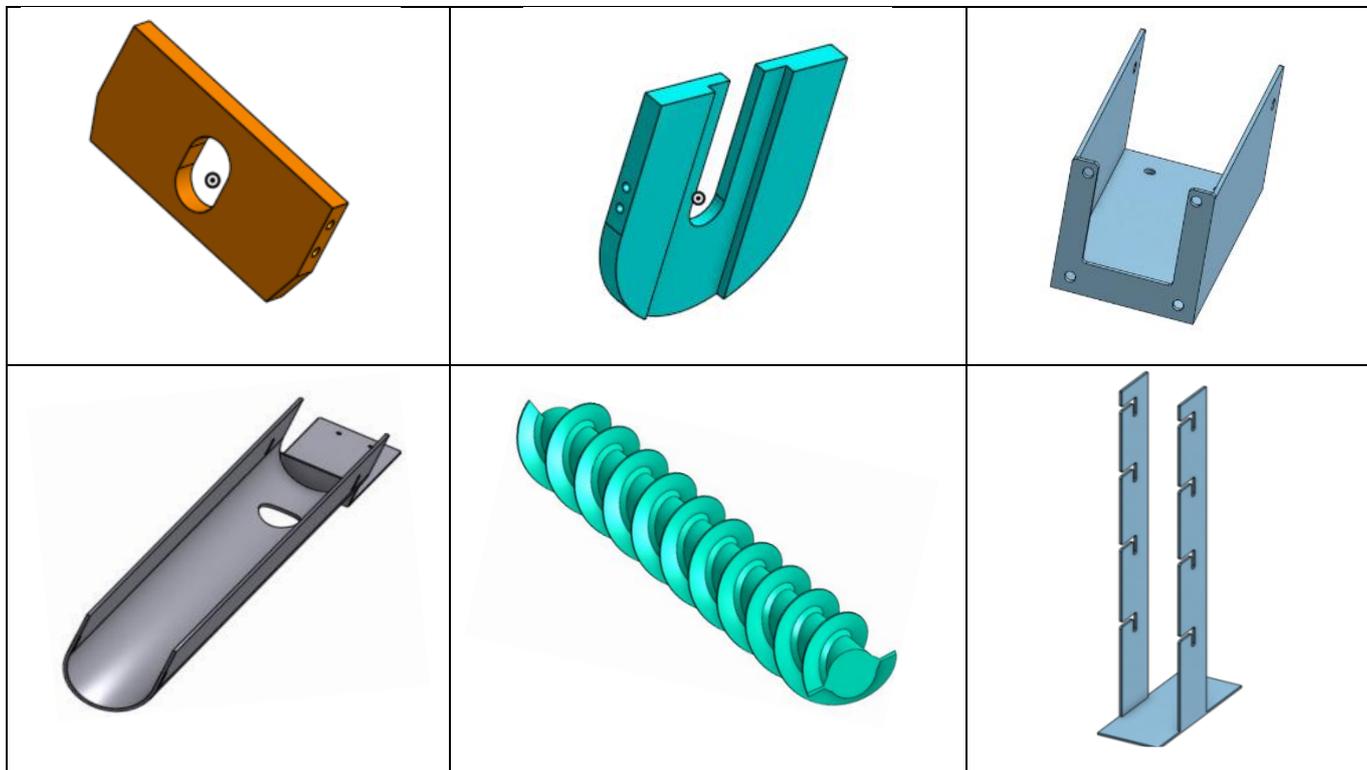


圖10、11、12、13、14、15 用Onshape 軟體設計繪製出的元件

以上是我們使用 Onshape 繪出的 3D草圖。上排由左至右分別為：前端軸心架、後端軸心架－兩者分別放置在 U 形槽前後兩端內，用於固定螺旋的前後兩端；馬達架－以螺絲鎖緊在 U 形槽後的平臺，以置放馬達和減速器；下排由左至右分別為：U 形槽－其內放置螺旋與螺旋形成一輸送腔室；阿基米德螺旋；傾角架－其上的四個凹槽供放置馬達架上突出的螺絲，提供整座汲水器所需要的傾角。一般的阿基米德螺旋汲水器有兩大類型的設計，一為封閉式的螺旋裝置，一為開放式的裝置（如圖16、17.）。雖然封閉式的螺旋汲水裝置可以提供最佳汲取的效能，但在初步研究實驗階段，我們為確保汲泥過程不出現卡住石礫或其他無法預期的故障，我們便採用開放式的，因為封閉式的呈圓筒狀，較不容易觀察和清潔。

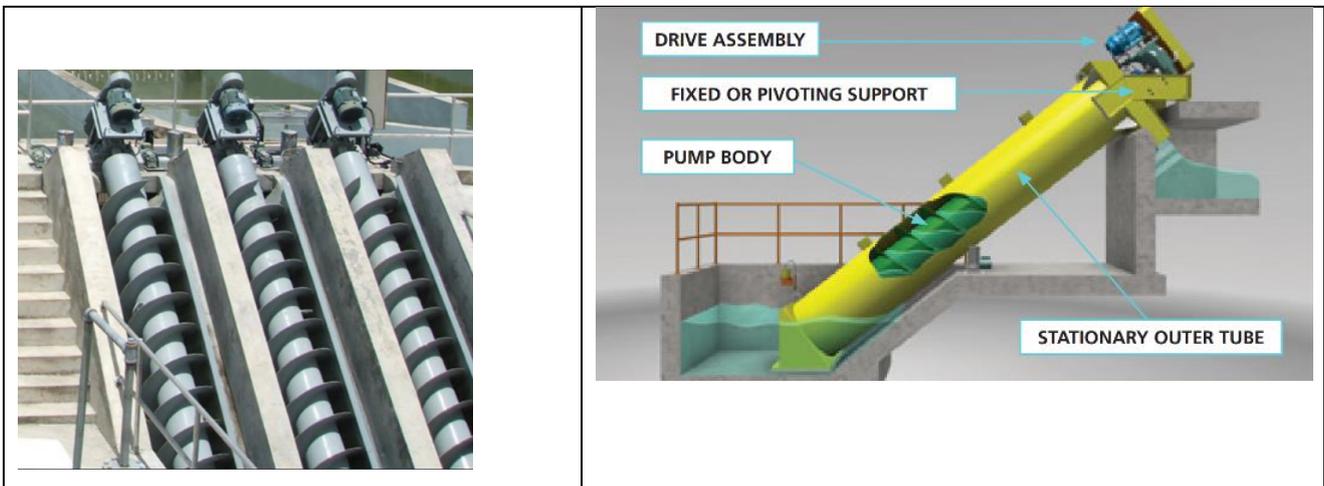


圖16、17 左上為開放式螺旋汲水器，右上為封閉式螺旋汲水器。取自 <https://www.lakeside-equipment.com/what-is-an-archimedes-screw-pump/>

五、傾角架的設計

從參考文獻得知，一般的阿基米德螺旋汲水器有其傾斜角度的限制，因此我們設計的傾角架上有四個放置螺旋支架的刻度，分別對應到 10° 、 20° 、 30° 、 40° 的傾角。老師教我們基本的三角函數，用Excel計算出不同角度在我們的實驗裝置條件下所對應出的高度，如下表。我們再根據此表的數值去設計出圖15 傾角架之刻度位置。

斜邊長A (U形槽+馬達架) (cm)	U形槽總長	馬達架長度	角度 θ	$\sin \theta$	傾角架刻度高(=A*sin θ) (cm)
70.20	57.5	12.7	10	0.174	12.19
70.20	57.5	12.7	20	0.342	24.01
70.20	57.5	12.7	30	0.500	35.10
70.20	57.5	12.7	40	0.643	45.12

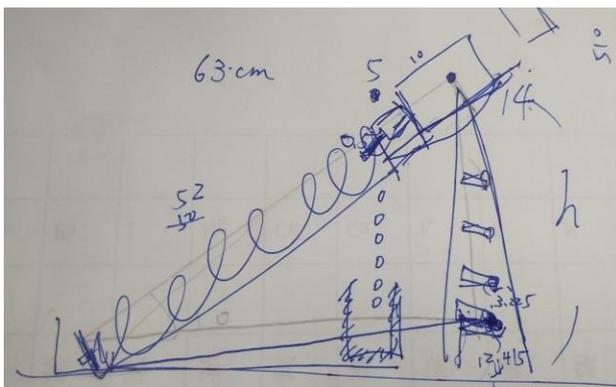


圖 18、19 汲水器裝置之原始概念圖和實際模型

六、研究過程

(一) 第一代阿基米德螺旋模型

原本打算利用學校的 3D 列印機印製阿基米德螺旋汲水器的外圓筒，但結構上不易成功，我們只好改用投影片繞成圓柱，做出外圓筒，把阿基米德螺旋汲水器的內部螺旋構造包裹住（見下圖20），形成封閉型的阿基米德螺旋汲水器。



這些是我們的一號實驗器材，但實際下水轉動時非常不樂觀，投影片和汲水器不夠密合，泥沙會卡在葉片和外圓筒之間，造成轉動的困難；而且我們也不認為有合適的馬達可以連結我們3D列印出的塑膠螺旋。

(二) 第二代阿基米德螺旋模型

於是我們決定自行設計螺旋汲水器，再提供設計圖給工廠，向工廠訂製四組不鏽鋼阿基米德螺旋及相關配件。四組螺旋的重量如下圖（如圖22）所示，此外、由於工廠製作的螺旋係以半圈半圈的不鏽鋼葉片點焊在內徑不鏽鋼桿軸上，為避免泥水自焊點以外的縫隙洩流，我們須再以 Silicone（矽利康）一圈圈地塗抹密封其間的所有縫隙（如圖23），以得汲水時的最大效能。



圖22、23 金屬汲水器重量和上Silicone（矽利康）的過程

然而光有螺旋，沒有承載固定的其他元件也不行，下頁的圖 24 至圖30則詳述了本實驗中阿基米德螺旋汲水器的組裝步驟。



圖24先把前端軸心架鎖上 U 形槽。



圖25擺上後端軸心架，將阿基米德螺旋放入 U 形槽，調整位置後鎖住軸心架。



圖26利用聯軸器將前端的阿基米德螺旋和後端的馬達減速器裝置連結起來。



圖27接著整組平行放入 U 形槽和馬達架。



圖28 將馬達架鎖在 U 形槽後端的平台架。



圖29把 U 形槽架上傾角架的刻度上。



圖30 因應操縱變因拆卸更換螺旋和減速器，重複前述步驟。

另外，在螺旋汲水器的U形槽出水口，我們也加工黏製了一圈導流板（如下圖紅圈處），避免汲起的泥水自U形槽上端的圓形出水口沿著金屬壁面溢流而下，而沒被實際收集到底下盛接的水盆內，影響了實驗數據。

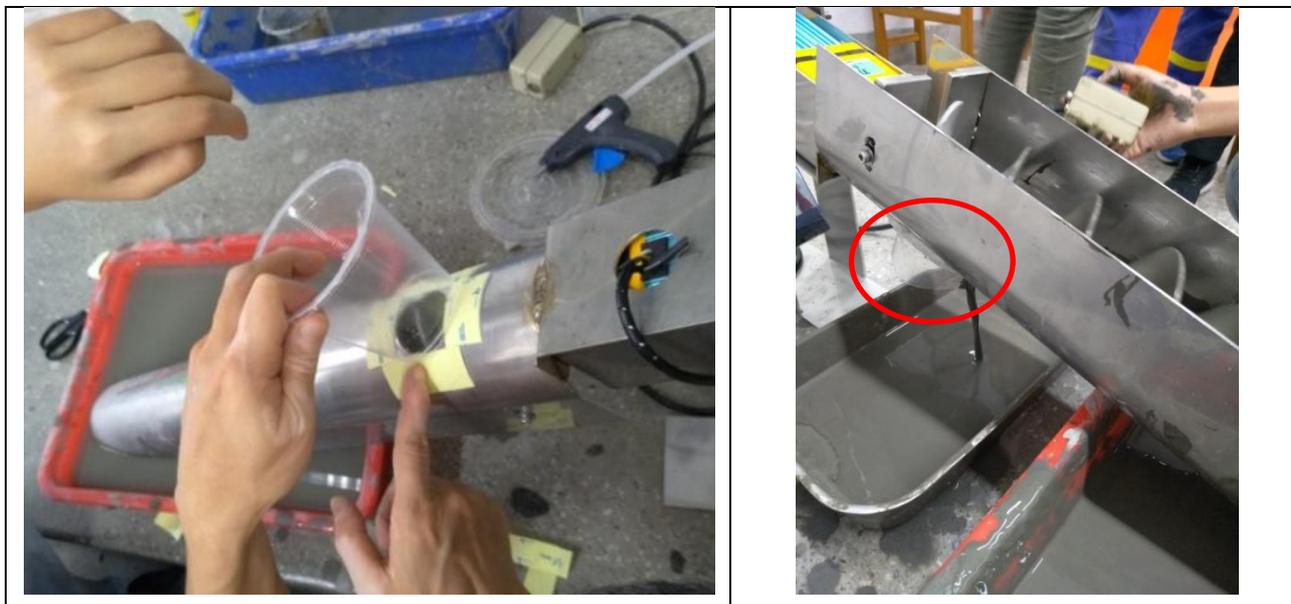


圖31、32黏製第一代導流器時情形

原本我們使用較小的長方形水盆盛裝泥水（如圖 33），進行螺旋汲水實驗，但進行不久，就發現水盆若不夠大，在汲水效率高的螺旋組，將因水位下降太急遽，導致汲起之泥水量隨時間而逐漸減少，進而影響實驗數據，於是我們決定改用大水槽盛裝待汲起的泥水，這樣水槽內的泥水量愈大，每個實驗過程（汲取時間歷時1分鐘）水位下降的程度就愈小。



圖33第一代實驗裝置運作情形

也因為這個經驗，我們在每進行一組實驗前後都會重新量測水位高度，避免影響實驗數據。在大水槽的部分，我們使用 PP 瓦楞板隔出了 40 公分寬的空間來放傾角架和汲起泥水的盛接盆，其餘空間就是盛裝著大約 20 公升的淤泥水，為了確實隔出不會滲水的空間，一開始我們使用熱熔膠黏著 PP 瓦楞板和水槽底部及邊緣再以膠布補強（如圖 34），但測試後發現無法完全密封住泥水（如圖 35），最後便改使用矽利康（Silicone）封黏（如圖 36），才確定不再滲水。

		
<p>圖 34 使用熱熔膠黏著檔板和水槽底部</p>	<p>圖 35 中央檔板之滲漏測試</p>	<p>圖 36 使用 Silicone 黏著檔板和水槽底部</p>

（三）轉速的改變

在進行 120 轉的實驗時，我們發現若以原先的計時 60 秒來做這組實驗，很容易就因汲取量太大，讓水槽內的泥水快速下降至無法汲取的高度。所以我們只好在水槽的底部用電鑽和電鋸挖出了一個洞，再用投影片捲起做成導流器（如圖 37），同時將汲泥時間改成 30 秒，這樣的話水槽水位就不會下降太快，引響了汲水效能，在盛接流出的泥水時比較方便，不用一直換盆子，增加實驗誤差。

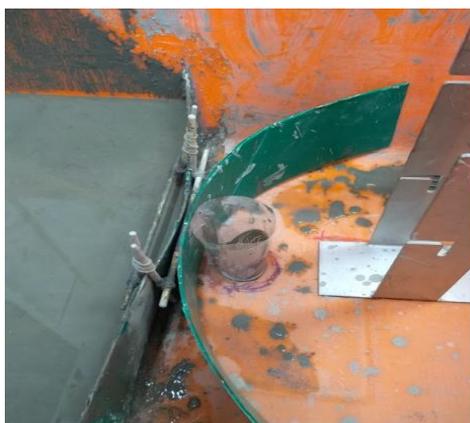


圖 37 自製導流器和水箱上挖出的洞

(四) 實驗泥水配製



圖 38、39 秤取適量水庫淤泥加以同質量的水，以調製出泥水比 1:1 的泥水，照片中可見到薯泥攪拌器也被拿來攪和泥巴。

圖 40 偏黏土性質的水庫淤泥要花不少力氣，以工具搭配雙手進行泥和水的攪拌、混合

實驗的操縱變因有泥水的比例，所以我們好好使用了 8 上理化課學到的重量百分濃度來計算如何有效率的混合泥水以調到理想濃度。

在國展準備期間，我們想了解螺旋轉速對淤泥汲取量的影響程度，因此再訂購了一組減速比的減速器，再補充實驗數據時，因淤泥的含水量與最初實驗時的已經不一樣了，所以我們以之前的密度作為基準，重新調配泥水，並測試實驗數據是否與之前的結果相符。

(五) 汲取淤泥量的估算

從國科會相關研究報告（如圖 41），關於水庫淤泥粒徑分佈曲線得知，（紅色箭頭分別標示出石門水庫淤泥粒徑在 $3\mu\text{m}$ 和 $5\mu\text{m}$ 的截點）石門水庫的淤泥粒徑在 $4\mu\text{m}$ 以下的不到 45% 的質量，所以我們選用孔徑 $4\mu\text{m}$ 的定量濾紙，過濾以阿基米德螺旋汲水器汲取出的泥水，這樣過濾攔截到的淤泥量會占汲取水樣之實際淤泥量 55% 以上，資料足具代表性。

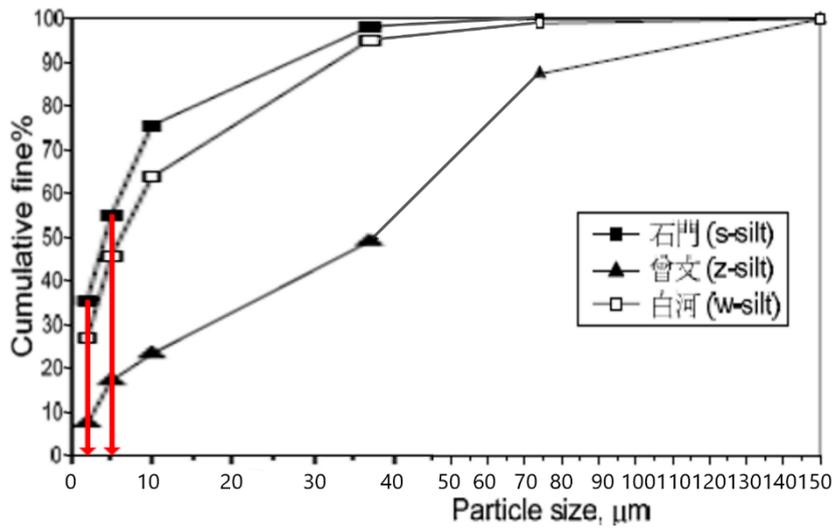


圖 41 三大水庫的淤泥粒徑分布曲線圖



圖 42、43 泥水過濾和完成時照片

我們取 26 公克汲取出的淤泥水，以孔徑 $4\ \mu\text{m}$ 的濾紙過濾後，將其晾乾兩天再以吹風機烘乾後，秤得濾紙上的淤泥重，再利用該質量與過濾液 26 公克的比值，推算出各組實驗數據所汲取出的淤泥量，公式如下。

$$\text{汲出淤泥量}(g) = \frac{\text{濾出淤泥重}(g)}{26(g)} \times \text{汲出泥水重}(g)$$

在經歷了多次的改良實驗方法與模式後，我們的阿基米德螺旋汲水器實驗裝置如下圖 44。而對於本裝置在水庫清淤上的運用，也有了初步構想如圖 45。

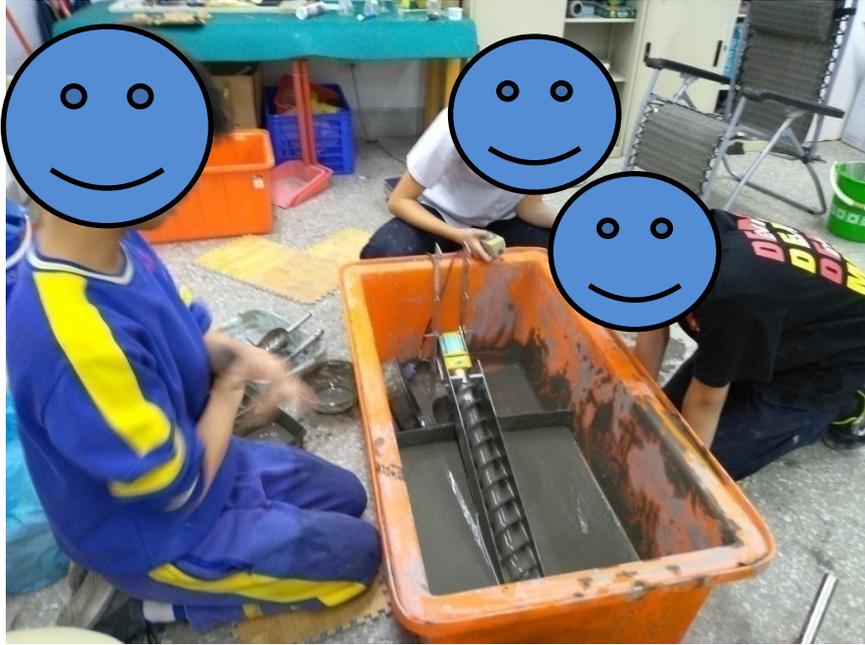


圖 44 本實驗利用金屬阿基米德螺旋的汲泥過程

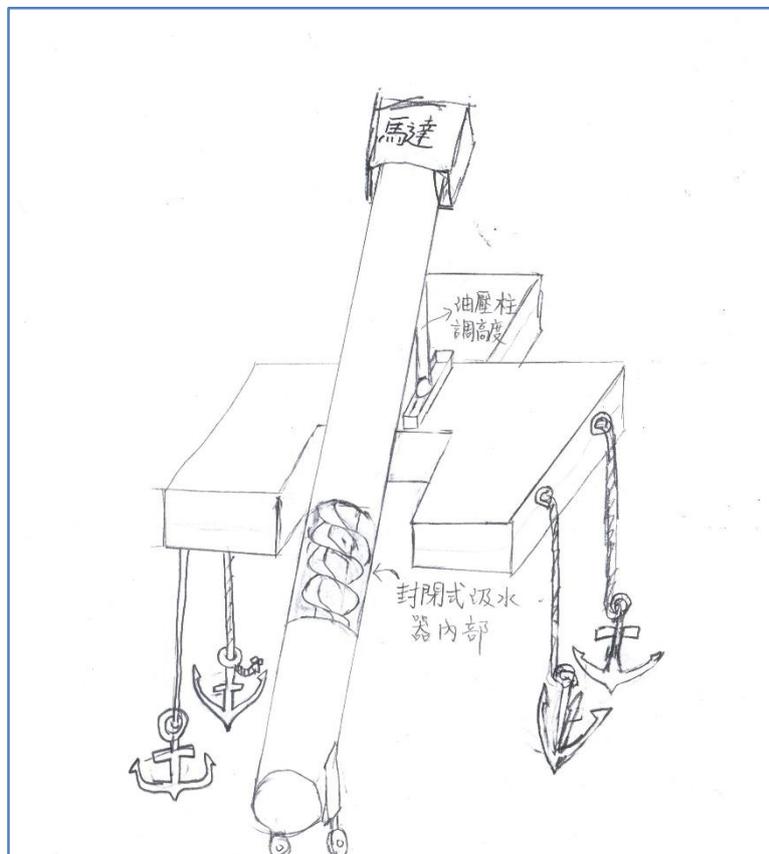


圖 45 則是我們針對本實驗裝置在水庫積淤區運作的操作示意圖。

伍、研究結果

原始數據

一、泥與水比例為 2 : 1，轉速 60轉/分，每分鐘汲取量

傾角 = 20°, 1/2 R, N=2, 泥 : 水=1 : 1					傾角 = 30°, 1/2 R, N=2, 泥 : 水=1 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	7.30	7.30	7.30		7.30	7.20	7.18	
最後水位(cm)	5.13	5.30	5.25		6.50	6.40	6.25	
汲泥水量(g)	7017.5	7027.8	7024.9	7023.4	2946.6	3071.8	2878.0	2965.47
淤泥/泥水重	0.4038	0.4038	0.4038		0.4038	0.4038	0.4038	
抽出淤泥量(g)	2833.99	2838.15	2836.98	2836.37	1189.97	1240.53	1162.27	1197.59
傾角 = 20°, 1/2 R, N=3, 泥 : 水=1 : 1					傾角 = 30°, 1/2 R, N=3, 泥 : 水=1 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	7.10	7.30	7.30		7.33	7.32	7.32	
最後水位(cm)	4.91	4.87	5.16		6.31	5.81	6.05	
汲泥水量(g)	7694.1	7469.6	7574.3	7579.33	4122.6	4096.1	4171.7	4130.13
淤泥/泥水重	0.4038	0.4038	0.4038		0.4038	0.4038	0.4038	
抽出淤泥量(g)	3107.23	3016.57	3058.85	3060.88	1664.90	1654.19	1684.73	1667.94
傾角 = 20°, 1/4 R, N=3, 泥 : 水=1 : 1					傾角 = 30°, 1/4 R, N=3, 泥 : 水=1 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	7.50	7.33	7.34		7.30	7.25	7.36	
最後水位(cm)	5.40	5.23	5.33		6.83	6.60	6.57	
汲泥水量(g)	7186.0	6904.0	7160.8	7083.6	2533.5	2555.6	2630.5	2573.2
淤泥/泥水重	0.4038	0.4038	0.4038		0.4038	0.4038	0.4038	
抽出淤泥量(g)	2902.04	2788.15	2891.86	2860.68	1023.14	1032.07	1062.32	1039.18
傾角 = 20°, 1/4 R, N=2, 泥 : 水=1 : 1					傾角 = 30°, 1/4 R, N=2, 泥 : 水=1 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	7.20	7.20	7.36		7.20			
最後水位(cm)	5.96	6.07	6.15		汲不上			
汲泥水量(g)	4721.2	4694.5	4604.3	4673.33	0.0			
淤泥/泥水重	0.4038	0.4038	0.4038					
抽出淤泥量(g)	1906.64	1895.86	1859.43	1887.31				

二、泥與水比例為 1 : 1，轉速 60轉 / 分，每分鐘汲取量

傾角 = 20°, 1/2 R, N=2, 泥 : 水=2 : 1					傾角 = 30°, 1/2 R, N=2, 泥 : 水=2 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	7.31	7.3	7.4		7.30	7.22	7.39	
最後水位(cm)	5.00	4.87	5.15		6.73	6.15	6.25	
汲取泥水量(g)	8299.8	8511.1	8646.4	8485.77	3617.4	3526.5	3619.8	3587.9
淤泥/泥水重	0.5458	0.5458	0.5458		0.5458	0.5458	0.5458	
抽出淤泥量(g)	4529.78	4645.10	4718.94	4631.27	1974.27	1924.66	1975.58	1958.17
傾角 = 20°, 1/2 R, N=3, 泥 : 水=2 : 1					傾角 = 30°, 1/2 R, N=3, 泥 : 水=2 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	7.30	7.30	7.24		7.30	7.23	7.34	
最後水位(cm)	4.32	4.47	4.20		5.63	5.14	5.50	
汲取泥水量(g)	9231.1	9788.7	10404.4	9808.07	6575.8	6491.8	6664.4	6577.33
淤泥/泥水重	0.5458	0.5458	0.5458		0.5458	0.5458	0.5458	
抽出淤泥量(g)	5038.05	5342.37	5678.40	5352.94	3588.87	3543.02	3637.22	3589.71
傾角 = 20°, 1/4 R, N=3, 泥 : 水=2 : 1					傾角 = 30°, 1/4 R, N=3, 泥 : 水=2 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	7.25	7.30	7.30		7.24	7.18	7.25	
最後水位(cm)	4.20	4.15	4.24		6.35	6.40	6.37	
汲取泥水量(g)	9499.1	9621.5	8926.1	9348.9	2869.2	2762.5	3284.70	2972.13
淤泥/泥水重	0.5458	0.5458	0.5458		0.5458	0.5458	0.5458	
抽出淤泥量(g)	5184.32	5251.12	4871.59	5102.34	1565.92	1507.69	1792.69	1622.10
傾角 = 20°, 1/4 R, N=2, 泥 : 水=2 : 1					傾角 = 30°, 1/4 R, N=2, 泥 : 水=2 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	7.30	7.16	7.16		7.40	7.40	7.36	
最後水位(cm)	4.25	5.12	4.89		7.20	7.26	7.10	
汲取泥水量(g)	8295.8	7762.4	7877.2	7978.47	713.3	833.7	904.6	817.2
淤泥/泥水重	0.5458	0.5458	0.5458		0.5458	0.5458	0.5458	
抽出淤泥量(g)	4527.59	4236.48	4299.13	4354.40	389.30	455.01	493.70	446.00

三、泥與水比例為 1 : 1，轉速 120轉 / 分，30 秒汲取量

	傾角 = 20°, 1/4 R, N=2, 泥 : 水=1 : 1				傾角 = 30°, 1/4 R, N=2, 泥 : 水=1 : 1				傾角 = 40°, 1/4 R, N=2, 泥 : 水=1 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	7.47	8.35	8.30		7.23	8.00	8.19					
最後水位(cm)	4.57	5.21	5.40		6.27	6.43	6.91					
水位差(cm)	2.90	3.14	2.90	2.98	0.96	1.57	1.28	1.27				
汲起泥水量(g)	9637.9	10112.1	9524.4	9758.13	4010.5	4549.3	4394.2	4318.0				
淤泥/泥水重	0.40	0.40	0.40		0.40	0.40	0.40					
抽出淤泥量(g)	3861.34	4051.32	3815.87	3909.51	1606.77	1822.64	1760.50	1729.97				
	傾角 = 20°, 1/4 R, N=3, 泥 : 水=1 : 1				傾角 = 30°, 1/4 R, N=3, 泥 : 水=1 : 1				傾角 = 40°, 1/4 R, N=3, 泥 : 水=1 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	8.10	8.01	8.10		8.13	8.01	7.95		8.03	8.06	8.07	
最後水位(cm)	5.47	5.24	5.14		6.27	6.37	6.34		7.67	7.62	7.63	
水位差(cm)	2.63	2.77	2.96	2.79	1.86	1.64	1.61	1.70	0.36	0.44	0.44	0.41
汲起泥水量(g)	9379.8	9746.4	9918.2	9681.47	5761.7	5586.6	5477.7	5608.67	1409.8	1455.5	1497.6	1454.3
淤泥/泥水重	0.40	0.40	0.40		0.40	0.40	0.40		0.40	0.40	0.40	
抽出淤泥量(g)	3757.93	3904.81	3973.64	3878.79	2308.37	2238.22	2194.59	2247.06	564.82	583.13	600.00	582.65
	傾角 = 20°, 1/2 R, N=2, 泥 : 水=1 : 1				傾角 = 30°, 1/2 R, N=2, 泥 : 水=1 : 1				傾角 = 40°, 1/2 R, N=2, 泥 : 水=1 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	8.39	8.27	8.33		7.94	7.91	7.92		8.00	8.13	8.19	
最後水位(cm)	5.58	5.52	5.59		6.26	6.37	6.30		7.63		7.69	
水位差(cm)	2.81	2.75	2.74	2.77	1.68	1.54	1.62	1.61	0.37		0.50	0.44
汲起泥水量(g)	8595.3	9202.5	9463.7	9087.17	5340.6	5462.1	4982.8	5261.83	1568.0	1506.8	1551.1	1541.97
淤泥/泥水重	0.40	0.40	0.40		0.40	0.40	0.40		0.40	0.40	0.40	
抽出淤泥量(g)	3443.63	3686.90	3791.55	3640.69	2139.66	2188.34	1996.31	2108.11	628.21	603.69	621.43	617.78
	傾角 = 20°, 1/2 R, N=3, 泥 : 水=1 : 1				傾角 = 30°, 1/2 R, N=3, 泥 : 水=1 : 1				傾角 = 40°, 1/2 R, N=3, 泥 : 水=1 : 1			
	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均	No.1	No.2	No.3	平均
最初水位(cm)	8.34	8.09	8.16		8.19	8.29	8.13		8.17	8.13	8.11	
最後水位(cm)	5.03	4.92	5.04		6.04	5.78	5.82		6.61	6.73	6.76	
水位差(cm)	3.31	3.17	3.12	3.20	2.15	2.51	2.31	2.32	1.56	1.40	1.35	1.44
汲起泥水量(g)	11173.7	11086.7	10500.7	10920.4	7147.2	7988.2	8022.3	7719.23	4773.3	4332.3	4251.7	4452.43
淤泥/泥水重	0.40	0.40	0.40		0.40	0.40	0.40		0.40	0.40	0.40	
抽出淤泥量(g)	4476.64	4441.79	4207.01	4375.15	2863.46	3200.40	3214.06	3092.64	1912.38	1735.70	1703.41	1783.83

陸、討論

茲將本實驗的所有實驗數據整理於下表：

傾角	轉速	泥水比	葉片數	半徑比	第一次 (gw)	第二次 (gw)	第三次 (gw)	平均一分鐘 汲泥量(gw)	
20°	60 rpm	1 : 1	雙葉片	1 : 2	2834.0	2838.2	2837.0	2836.4	
				1 : 4	1906.6	1895.9	1859.4	1887.3	
			三葉片	1 : 2	3107.2	3016.6	3058.7	3060.8	
				1 : 4	2902.0	2788.2	2891.9	2860.7	
		2 : 1	雙葉片	1 : 2	4529.8	4645.1	4718.7	4631.2	
				1 : 4	4527.6	4236.5	4299.0	4354.4	
			三葉片	1 : 2	5038.1	5342.4	5678.4	5352.9	
				1 : 4	5184.3	3955.7	4871.6	4670.6	
	120 rpm	1 : 1	雙葉片	1 : 2	3443.6	3686.9	3791.6	7281.4	
				1 : 4	3861.3	4051.3	3815.9	7819.0	
			三葉片	1 : 2	4476.6	4441.8	4207.0	8750.4	
				1 : 4	3757.9	3904.8	3973.6	7757.6	
	30°	60 rpm	1 : 1	雙葉片	1 : 2	1190.0	1240.5	1162.3	1197.6
					1 : 4	0	0	0	0.0
				三葉片	1 : 2	3107.2	3016.6	3058.7	3060.8
					1 : 4	1023.1	1032.1	1062.3	1039.2
2 : 1			雙葉片	1 : 2	1974.3	1924.7	1975.6	1958.2	
				1 : 4	312.9	203.8	219.1	245.3	
			三葉片	1 : 2	3588.9	3543.0	3637.2	3589.7	
				1 : 4	1565.9	1740.1	1792.7	1699.6	
120 rpm		1 : 1	雙葉片	1 : 2	2139.7	2188.3	1996.3	4216.2	
				1 : 4	1606.8	1822.6	1760.5	3460.0	
			三葉片	1 : 2	2863.5	3200.4	3214.1	6185.2	
				1 : 4	2308.4	2238.2	2194.6	4494.2	
40°		120 rpm	1 : 1	雙葉片	1 : 2	628.2	603.7	621.4	1235.6
					1 : 4	0	0	0	0.0
				三葉片	1 : 2	1912.4	1735.7	1703.4	3567.6
					1 : 4	564.8	583.1	600.0	1165.4

一、 轉速 60 rpm

(一)、 泥水比對抽淤量的影響—泥水愈濃，汲起的泥水量愈多

我們將四組螺旋在不同的泥水濃度且傾角 20° 時的最大和最小值數據獨立出來比較，繪製成下圖，每個代號分別有泥水濃度2：1和1：1的兩組數值。

代號1為半徑比1：2, 雙葉片的螺旋，

代號2為半徑比1：2, 三葉片的螺旋，

代號3為半徑比1：4, 雙葉片的螺旋，

代號4為半徑比1：4, 三葉片的螺旋。下圖中，上端的數據值皆屬於泥水濃度2：1的。

從下圖看出，不論哪一組螺旋在泥水比2：1 的表現皆顯著優於泥水比1：1的情況，合理推測泥水愈濃稠，可汲出的淤泥就愈多。不過濃度較高者容易發生小石子卡在葉片與U形槽中間，而使馬達無法順利帶動汲水器的狀況。

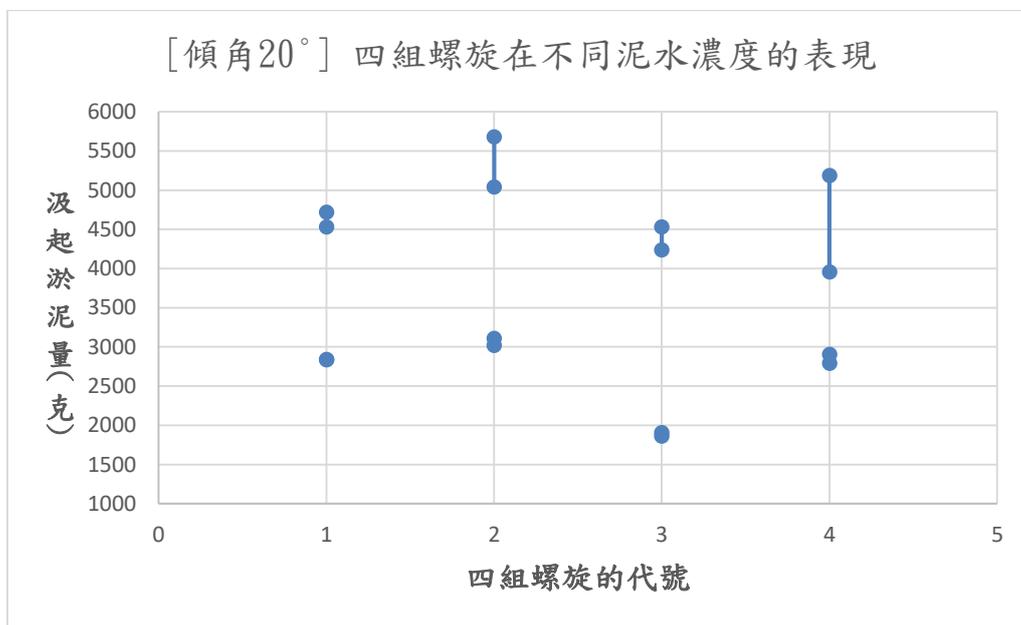


圖45 泥水濃度對汲水量的比較圖

(二)、 傾斜角度對抽淤量的影響—傾角越大，淤泥的汲起量就愈小

我們將四組螺旋搭配兩組不同濃度的泥水，分別訂為八組代號，再分別取其傾角 20° 和 30° 時的數據繪在同一垂直軸上做比較，如下圖所示。

代號1為半徑比1：2, 雙葉片的螺旋，搭配泥水比1：1，

代號2為半徑比1：2, 雙葉片的螺旋，搭配泥水比2：1，

代號3為半徑比1：2, 三葉片的螺旋，搭配泥水比1：1，
 代號4為半徑比1：2, 三葉片的螺旋，搭配泥水比2：1，
 代號5為半徑比1：4, 雙葉片的螺旋，搭配泥水比1：1，
 代號6為半徑比1：4, 雙葉片的螺旋，搭配泥水比2：1，
 代號7為半徑比1：4, 三葉片的螺旋，搭配泥水比1：1
 代號8為半徑比1：4, 三葉片的螺旋，搭配泥水比2：1。

每個代號皆有兩群數據值，上端那群數據為傾角 20° 的三次汲泥量測量值，下端那群數據為傾角 30° 的三次汲泥量測量值時，明顯看出汲水器的擺放傾角愈小，可汲出的泥水量愈多。

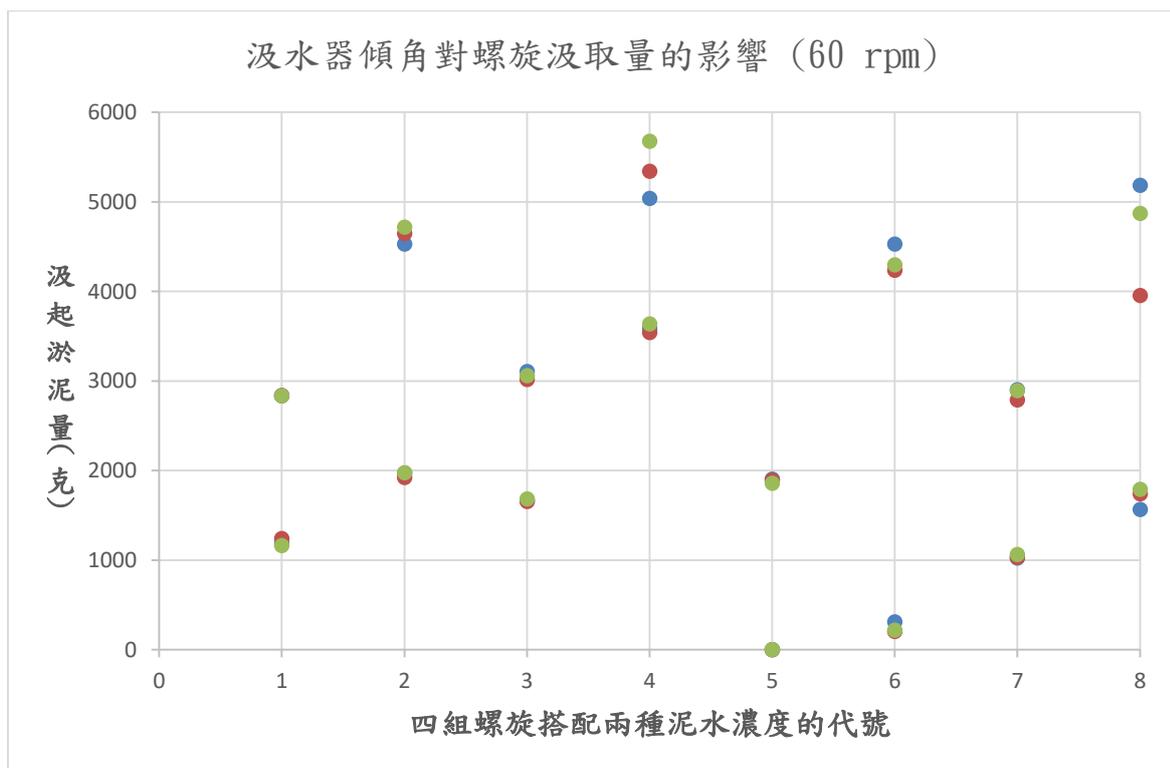


圖46 傾角對汲水量的比較圖

(三)、螺旋葉片數 (N) 對於抽淤量的比較—葉片愈多，汲起的泥水量愈多

藉由比較上圖奇數代號的數據值，可以得出在泥水比1：1的情況下，三葉片的汲泥量皆高於雙葉片的汲泥量，而這樣的差異在上圖中偶數代號的數據值表現更明顯。所以在本實驗中，三葉片的汲泥效果優於雙葉片。

(四)、 螺旋半徑比對於抽淤量的影響—半徑比越大，汲上來的量就愈多

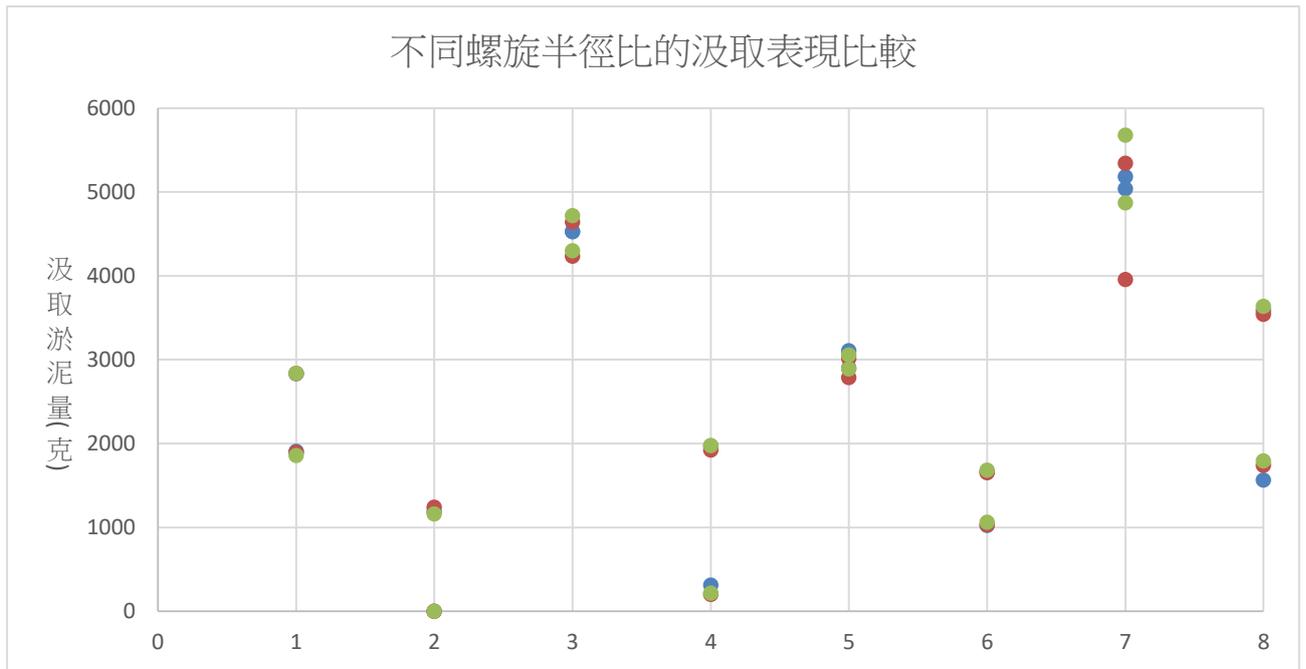


圖47 螺旋半徑比對汲水量的比較圖

水平軸1 的兩群數據分別來自於泥水比1：1、傾角20°時，雙葉片的兩組螺旋；
 水平軸2 的兩群數據分別來自於泥水比1：1、傾角30°時，雙葉片的兩組螺旋；
 水平軸3 的兩群數據分別來自於泥水比2：1、傾角20°時，雙葉片的兩組螺旋；
 水平軸4 的兩群數據分別來自於泥水比2：1、傾角30°時，雙葉片的兩組螺旋；
 水平軸5 的兩群數據分別來自於泥水比1：1、傾角20°時，三葉片的兩組螺旋；
 水平軸6 的兩群數據分別來自於泥水比1：1、傾角30°時，三葉片的兩組螺旋；
 水平軸7 的兩群數據分別來自於泥水比2：1、傾角20°時，三葉片的兩組螺旋；
 水平軸8 的兩群數據分別來自於泥水比2：1、傾角30°時，三葉片的兩組螺旋。

每一組水平軸上上端的那群數據皆來自於半徑比1：2的螺旋，雖然代號5的兩群數據從圖中似乎混在一起，但從實際量測數據仍可看出螺旋半徑比1：2的數值最小值仍大於螺旋半徑比1：4的最大量測值，是以可以合理推斷螺旋半徑比愈大，可汲出的泥水量愈多。

二、 轉速 120 rpm

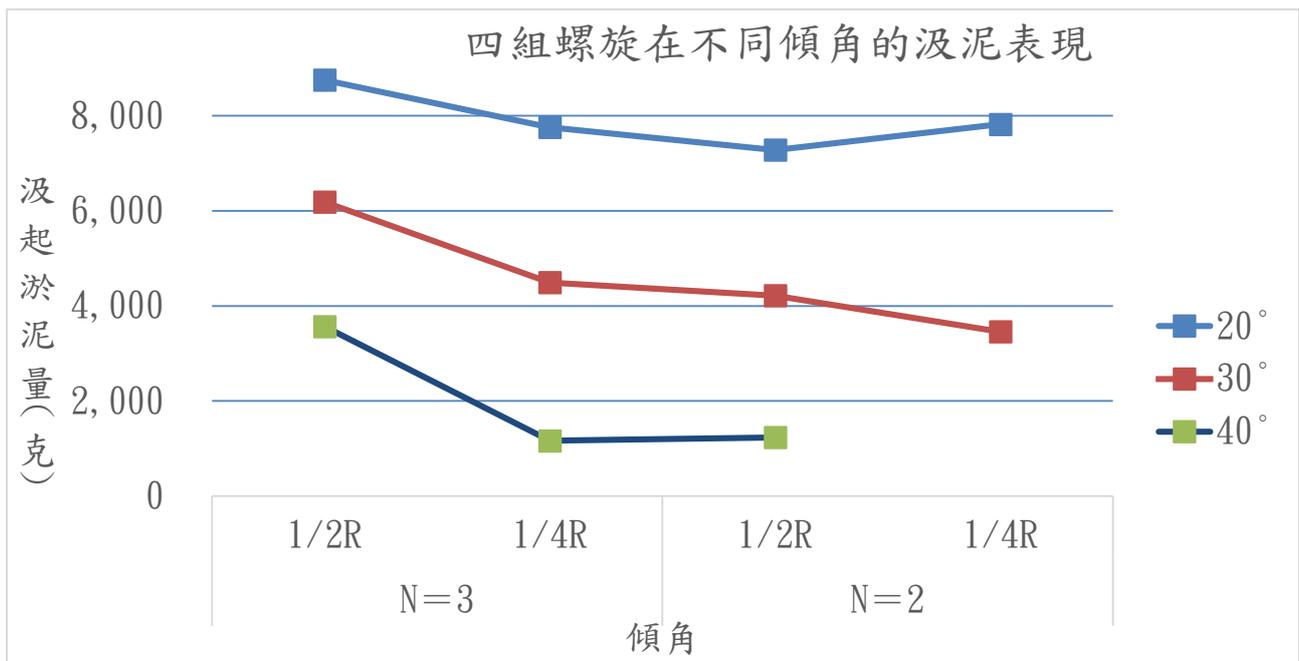


圖48 轉速對對汲水量的比較圖

與轉速 60轉的最大區別是，在120轉的轉速下，四組汲水器皆克服了角度的限制，除了半徑比1：4、雙葉片的螺旋無法在40° 汲取不出泥水外，其他的都得以汲起淤泥，且從上圖中可輕易看出汲泥裝置的傾角對汲泥效果有顯著的影響。

值得注意的一點是，轉速 120 轉的實驗在泥水濁度較高的 2：1 實驗操作過程中，屢次出現螺旋轉不動的現象，這點我們將在後面的討論探討。

三、最後，我們做了一個針對各操縱變因與阿基米德螺旋汲水器汲泥效果的比較：

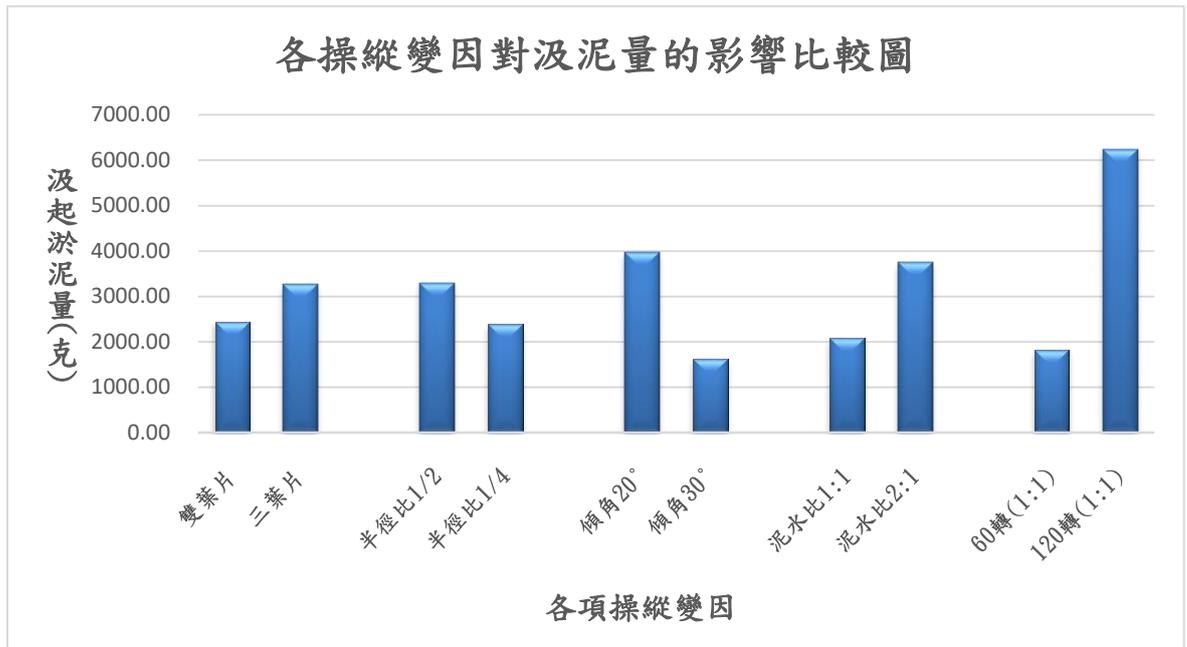


圖49各變因對汲水量的比較圖

柒、結論

- 一、泥水中的泥比例越高，因為黏滯性／附著力變強，所以螺旋汲水器的抽泥效果越好。
- 二、阿基米德汲水器在傾角40°左右時無法汲起泥水，與我們讀到的研究報告相符。而角度越小，汲水的效果越好，但我們設計出來的螺旋汲水器裝置，在出水口和泥水水位高度差距太小的情況下，無法在10°的傾角下操作，估計10°傾角的情況下運作會更好。然而，在實際汲泥的操作現場，僅有10°傾角意味著將淤泥從水庫積淤區提升的高度有限，不太符合實際狀況。
- 三、葉片數越多，在一次旋轉中就能以越多的腔室帶起泥水，每次轉動也能越有效率，然而葉片愈多，質量愈重，消耗功率與製作費用愈高。
- 四、從我們的實驗結果，以汲泥效果最佳的螺旋（內外徑比1:2，三葉片，泥:水=2:1）資料來估算，若於清淤範圍內適度移動僅僅50公分長的阿基米德螺旋汲水器裝置，每24小時可以汲取8公噸左右的泥土，一年約可抽出2000噸重的水庫淤泥。

- 五、阿基米德螺旋和 U 型槽中間的距離要取適當，若太窄，螺旋轉動時會因摩擦發出噪音，甚至會卡住較大粒徑的砂礫，進而有可能損壞馬達、螺旋或 U 型槽；太寬則可能讓過多泥水漏出汲水器，導致汲取效率變差。
- 六、實驗時發現螺旋經常被小石粒卡住，造成馬達無法帶動螺旋而空轉。因此在水庫實際汲取淤泥時有必要在汲水器入水口前端以適當孔徑濾網先行過濾，避免小石粒進入阿基米德螺旋汲水器。
- 七、在做轉速 120 rpm 實驗時，我們發現由於搭配了不同的減速器，對功率造成（功率因子=輸出的電能/輸入的電能）一定程度的影響，以至於在以轉速 120 rpm 進行泥水比 2：1 的實驗時，屢屢出現螺旋轉不動的現象，導致此部分（泥水比 2：1）的大多實驗無法進行，推測是因為轉速 120 rpm 的減速器轉矩過小，無法帶動質量較重的螺旋導致。
- 八、因為抽取淤泥的範圍大約是裝置長度的兩倍到三倍之間，所以抽淤時並不致因過度攪動泥水，而影響到民生用水的清淨度。
- 九、未來展望：在實驗操作過程發現，只要水位在 7 公分以上，大約是螺旋前端第一個腔室的一半深度，就可以順利汲取泥水，適合在長期低水位的水庫積淤區域清淤。陸面機械開挖動用到挖土機只能在乾季清除露出水面之淤泥，適於在低水位季節實施；機械浚渫則需有足夠水深以免抽泥船在工作期間擱淺（1997, 經濟部），而我們設計出的阿基米德螺旋汲水器裝置可以靈活運用於任何季節，尤其可以在水深不到半公尺的區域進行淤泥的掘取清除。
- 十、研究限制：
- （一）、由於本實驗的汲水效果完全是要實際操作才能得知其汲水效能，在加入了另一組減速器以進行轉速更快（120 rpm）的實驗時，我們才發現現有的備用泥水量若要進行先前的一分鐘汲取時間，會因汲泥效率太高而大幅降低水槽內的泥水水位，而改採計汲取 30 秒的數據，有可能增加實驗的誤差。
- （二）、提供更高轉速的減速機，雖然讓汲水器有較高的轉速，但其轉矩卻因而減半，在進行泥水濃度 2：1 的實驗時，就出現馬達轉不動螺旋的情況，在我們排除其他可能的障礙後，推測是轉矩不夠導致。這值得後續的研究探討。

捌、參考資料及其他

Alison Shappy, Pat Knapp, Julie Mullowney, and Colin Delaney. (2013.4.4). Optimization of an Archimedean Screw. *Saint Michael's College*. Retrieved December 16, 2019, from

https://web.williams.edu/Mathematics/sjmiller/public_html/hudson/Shappy_Archimedean.pdf

Lakeside Equipment Corporation. What is an Archimedes Screw Pump? Retrieved January 21, 2019, from <https://www.lakeside-equipment.com/what-is-an-archimedes-screw-pump/>

Rorres, Chris. (2000). The Turn of the Screw: Optimal Design of An Archimedes Screw. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126 (1)

謝詠晴、蔡捷羽 (2018), 《水清石見浪淘淨—水庫水力旋流排淤之探討》, 臺灣網路科教館, 取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=8&sid=15183>

經濟部水資源局 (1997), 水庫清淤方法分析規範, (7~13 頁), 取自 [http://file.wra.gov.tw/public/PDF/%A4%F4%AEw%B2M%B2J%A4%E8%AAk%A4%C0%AAR%B3W%BDd\(%AA%FE%A5%F3%A4G\).pdf](http://file.wra.gov.tw/public/PDF/%A4%F4%AEw%B2M%B2J%A4%E8%AAk%A4%C0%AAR%B3W%BDd(%AA%FE%A5%F3%A4G).pdf)

《阿基米德式螺旋抽水機》, 維基百科。取自

https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes'_screw

呂國禎、劉光瑩、辜樹仁 (2018年2月27日) · 一疊鈔票, 換一把泥砂! 石門水庫, 清淤要花300億 · 天下雜誌642期 · 取自 <https://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5088430>

阿基米德螺旋泵-百度百科

<https://baike.baidu.com/item/%E9%98%BF%E5%9F%BA%E7%B1%B3%E5%BE%B7%E8%9E%BA%E6%97%8B%E6%B3%B5>

郭耀程 (2019) · 石門水庫泥沙問題與對策 臺北市: 經濟部水利署北區水資源局

張庭華 (2019) · 石門水庫區域供水角色變化與展望 臺北市: 經濟部水利署北區水資源局

國家教育研究院雙語詞匯（2002）·粒徑 grain size · 取自

<http://terms.naer.edu.tw/detail/1327656/>

申永輝、蘇佳琪、施育仁（2008）·採取低含水量水庫淤泥並資源化應用於燒制輕質骨材之研究--子計畫四：低含水量水庫淤泥中之黏土礦物表面性質沉積脫水乾燥之關聯性研究(D)·（報告編號：NSC-96-2621-Z-006-007）

【評語】 032920

本作品運用阿基米德螺旋汲水器在水庫清淤上,考慮的變因有螺旋內外半徑比、葉片數、裝置傾角、泥水比例和轉速等,除自行設計與製作阿基米德螺旋汲水器外,也收集相關報告瞭解臺灣各大水庫的淤積現況及現有的清淤方式。所設計出的阿基米德螺旋汲水器裝置可以靈活運用於任何季節,尤其可以在水深不到半公尺的區域進行淤泥的掘取清除。充分發揮自學自製的能力與解決問題的能力。

建議如下：

1. 有些數據圖表示不夠清楚，變因描述不清楚。
2. 若能找出關鍵變因，進行較多的變數分析，價值會更高。
3. 有相關文獻和網路資料報導過以阿基米德螺旋汲水器清除淤泥，建議比較並討論本作品的原創性與優勢。

壹、摘要

本研究在探討阿基米德螺旋汲水器汲取淤泥的效果，我們設計出四組長為 50 公分的螺旋，以裝置傾角、轉速、泥水比例、螺旋葉片數和內外半徑比為操縱變因，進行實驗。

實驗結果發現，汲水裝置**傾角**愈大，汲取量愈少；螺旋**轉速**以 120 rpm 的汲取量優於 60 rpm，且能突破傾角 40° 無法汲起淤泥的限制；**泥水比例**則以泥水比 2：1 時的汲取量高於泥水比 1：1 時的；**葉片數**以三葉片螺旋的效能較高；**半徑比**以內外半徑比 1/2 的汲泥效果最佳。實驗中亦發現，只要水位高過螺旋前端的第一個腔室，即可順利汲取泥水；以及泥效果最佳的數據估算，每 24 小時可汲起約 8 公噸的淤泥。若利用本實驗成果進一步研發，有望成為在水庫積淤區域進行抽淤的利器。

貳、研究動機

臺灣水庫淤積嚴重，嚴重影響水庫防洪蓄水功能。目前清淤的速度趕不上淤積速度，淤泥清不勝清。在尋找科展題目時，阿基米德螺旋汲水器引起我們的興趣，它在兩千多年前已被作為灌溉之用。同學靈光一閃：「阿基米德螺旋汲水器有沒有可能用來抽取水庫的淤泥？它會比其他現有的抽淤裝置更有成效嗎？」含水的淤泥附著力高、重量也更重，我們相信會與平常所知的阿基米德螺旋汲水器的承載運送效果不一樣。於是，我們展開了一連串的发問與探討。

參、研究目的

- (一)、探討汲水裝置傾角對汲淤量的影響
- (二)、探討轉速對汲淤量的影響
- (三)、探討泥水比例對汲淤量的影響
- (四)、探討葉片數對汲淤量的影響
- (五)、探討內外半徑比對汲淤量的影響

肆、研究流程

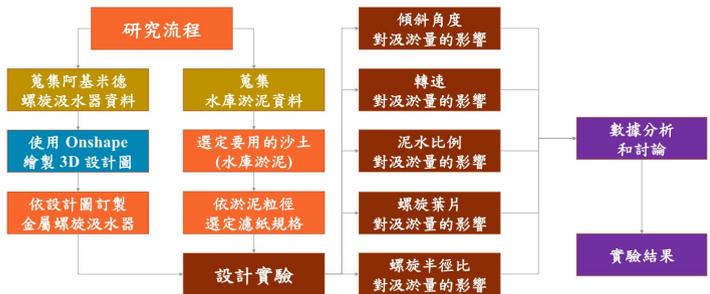


圖1 研究流程圖

伍、研究設備及器材

水槽 100x50x50 cm ³	石門水庫淤泥 40 公斤	電腦數台	軟體：Onshape、XYZware	3D 列印機： Da Vinci 1.0
No.5B 定量濾紙 (Advantec)	No.2 定性濾紙 (Advantec)	游標尺	6I6S 馬達 (1800 轉)	6A30 減速器 (減速比 1:30)
燒杯、漏斗	量筒	電子秤	馬鈴薯泥攪拌器	6A15 減速器 (減速比 1:15)

表1 器材

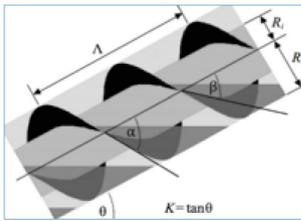


圖2 阿基米德螺旋幾何圖

主設備—阿基米德螺旋汲水器

- Λ (螺距) — 同一葉片旋轉一圈的軸向距離
- θ (傾角) — 螺旋軸心與地面夾角
- R_i (內半徑) — 桿軸半徑
- R_o (外半徑) — 桿軸中心到葉片外緣

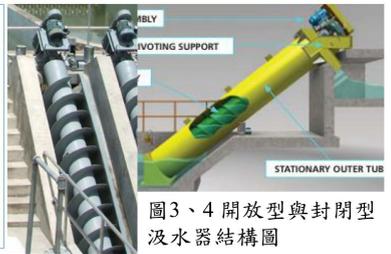


圖3、4 開放型與封閉型汲水器結構圖

(一) ABS 3D 列印阿基米德螺旋汲水器：

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
成品照片				
內半徑	2.1 cm	1.1 cm	2.1 cm	1.1 cm
外半徑	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm
半徑比	1：2	1：4	1：2	1：4
長度	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
葉片數	2 片	2 片	3 片	3 片
螺距	9.6 cm	9.6 cm	9.6 cm	9.6 cm

表2 3D 列印的四組阿基米德螺旋規格一覽表

(二) 金屬阿基米德螺旋汲水器：

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
照片				
內半徑	2 cm	1 cm	2 cm	1 cm
外半徑	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm
半徑比	1：2	1：4	1：2	1：4
長度	50 cm	50 cm	50 cm	50 cm
葉片數	2 片	2 片	3 片	3 片
螺距	9.94 cm	9.94 cm	9.94 cm	9.94 cm
重量	6.3 kg	2.8 kg	6.7 kg	3.5 kg

表3 四組金屬阿基米德螺旋規格一覽表

陸、研究過程及方法

一、阿基米德螺旋的原理

阿基米德螺旋汲水器的原理是，當施力物帶動螺旋軸旋轉時，螺桿一方面繞本的軸線旋轉，另一方面它又沿襯套內表面滾動，於是形成泵的密封腔室。螺桿每轉一周，密封腔內的液體向前推進一個螺距，隨著螺桿的連續轉動，液體以螺旋形式從一個密封腔壓向另一個密封腔，最後擠出泵體。

二、關於臺灣水庫的淤積量和目前常用的清淤方式

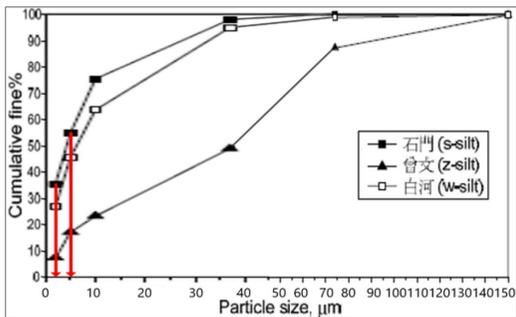


圖5 三大水庫的淤泥粒徑分布曲線圖

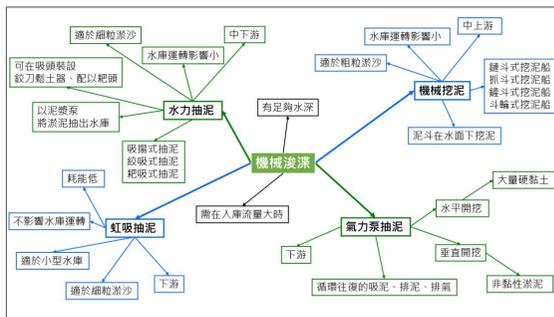


圖7 臺灣水庫常見的清淤方式—機械浚淤

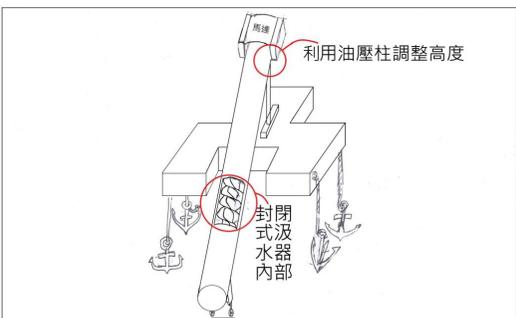


圖6 本實驗裝置在清淤現場的構想圖

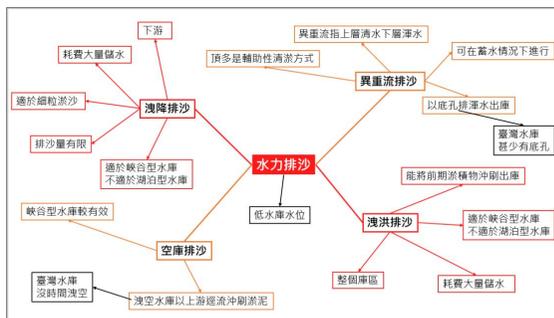


圖8 臺灣水庫常見的清淤方式—水力排沙

三、學習使用設計軟體 Onshape 設計實驗用螺旋汲水器

Onshape 是免費的線上 3D 繪圖軟體，允許線上協同設計的特性，讓我們初學時就可一起討論繪圖、修改設計圖，提升設計各物件的效率，我們使用它繪製出四組阿基米德螺旋、U 形槽、馬達架和傾角架的 3D 設計圖。



圖9 各元件組裝圖



圖10 從無到有學會利用 Onshape 繪圖設計實驗元件

四、傾角架的設計

從文獻得知，一般的阿基米德螺旋汲水器有其傾斜角度的限制，因此我們設計的傾角架上有四個放置螺旋支架的刻度，分別對應到 10°、20°、30° 和 40° 的傾角。老師教我們基本的三角函數，用 Excel 計算出不同角度在我們的實驗裝置條件下所對應出的高度，如下表。我們再根據此表的數值去設計出上圖傾角架之刻度位置。

斜邊A(U形槽+馬達架總長)(cm)	角度	sinθ	傾角架刻度高=A*sinθ (cm)
70.20	10°	0.174	12.190
70.20	20°	0.342	24.010
70.20	30°	0.500	35.100
70.20	40°	0.643	45.124

表4 傾角架高度計算表



圖11 傾角架之概念圖



圖12 過濾泥水情形

五、汲取淤泥量的估算

從文獻得知，石門水庫的淤泥粒徑在 4µm 以下的不到 45% 的質量，所以我們選用孔徑 4µm 的定量濾紙，過濾以阿基米德螺旋汲水器汲取出的泥水，這樣過濾攔截到的淤泥量會占汲取水樣之實際淤泥量 55% 以上，資料足具代表性。

我們取 26 公克汲取出的淤泥水，以孔徑 4µm 的濾紙過濾且烘乾後，秤得濾紙上的淤泥重，再利用該質量與過濾液的比值，推算出實驗數據所汲取出的淤泥量，公式如下：

$$\text{汲取淤泥量(g)} = \text{濾出淤泥重(g)} \div 26(\text{g}) \times \text{汲取泥水量(g)}$$

柒、實驗數據分析

傾角	轉速	泥水比	葉片數	半徑比	第一次 (rw)	第二次 (rw)	第三次 (rw)	平均 (rw)
20°	60 rpm	1:1	雙葉片	1:2	2834.0	2838.2	2837.0	2836.4
			三葉片	1:2	1906.6	1895.9	1859.4	1887.3
			三葉片	1:4	3107.2	3016.6	3058.7	3060.8
	120 rpm	1:1	雙葉片	1:2	4529.8	4645.1	4718.7	4631.2
			三葉片	1:2	4527.6	4236.5	4299.0	4354.4
			三葉片	1:4	5184.3	3955.7	4871.6	4670.6
40°	60 rpm	1:1	雙葉片	1:2	3443.6	3686.9	3791.6	3771.4
			三葉片	1:2	3861.3	4051.3	3815.9	3908.8
			三葉片	1:4	4476.6	4441.8	4207.0	4375.1
	120 rpm	1:1	雙葉片	1:2	3757.9	3904.8	3973.6	3911.8
			三葉片	1:2	4476.6	4441.8	4207.0	4375.1
			三葉片	1:4	3757.9	3904.8	3973.6	3911.8

表5 所有實驗數據

傾角	轉速	泥水比	葉片數	半徑比	第一次 (rw)	第二次 (rw)	第三次 (rw)	平均 (rw)
30°	60 rpm	1:1	雙葉片	1:2	1190.0	1240.5	1162.3	1197.6
			三葉片	1:2	0	0	0	0.0
			三葉片	1:4	3107.2	3016.6	3058.7	3060.8
	120 rpm	1:1	雙葉片	1:2	1974.3	1924.7	1975.6	1958.2
			三葉片	1:2	312.9	203.8	219.1	245.3
			三葉片	1:4	3588.9	3543.0	3637.2	3589.7
40°	60 rpm	1:1	雙葉片	1:2	2139.7	2188.3	1996.3	2111.4
			三葉片	1:2	1606.8	1822.6	1760.5	1729.9
			三葉片	1:4	2863.5	3200.4	3214.1	3126.0
	120 rpm	1:1	雙葉片	1:2	628.2	603.7	621.4	617.8
			三葉片	1:2	0	0	0	0.0
			三葉片	1:4	1912.4	1735.7	1703.4	1750.5

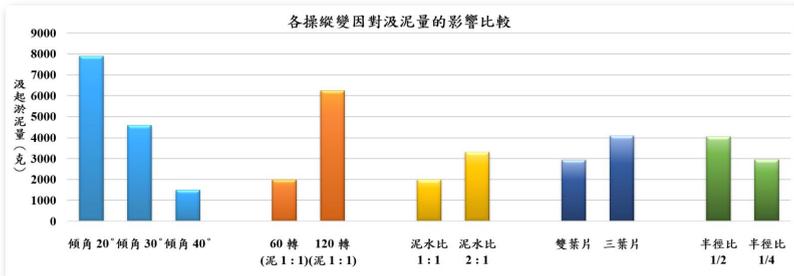


圖13 各操縱變因對汲泥量的影響比較

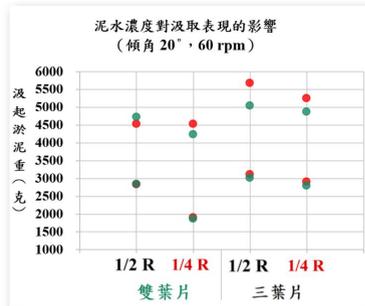


圖14 泥水濃度的影響 (傾角 20°, 60 rpm)

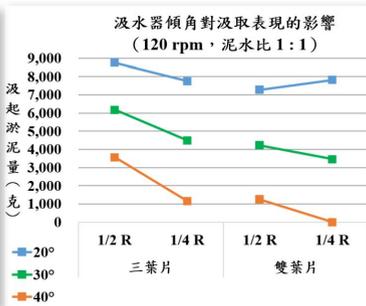


圖15 汲水器傾角的影響 (120 rpm, 泥水 1:1)

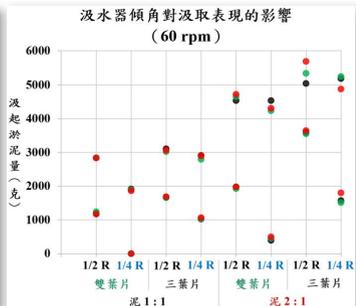


圖16 汲水器傾角的影響 (60 rpm)

捌、結論與討論

- 傾角越小使更多腔室浸入泥水、轉速加快、泥水越濃稠提高黏滯性、增加葉片使腔室變多，都令抽泥效果越好。
- 本實驗中半徑比愈大抽泥愈多。但最佳半徑比為何，又是另一個課題。
- 從汲泥效果最佳資料估算，24 小時約可汲取 8 公噸淤泥，一年約可抽淤 2000 公噸。
- 實驗發現，只要水位與螺旋腔室等高，阿基米德螺旋汲水器即可順利抽取泥水。
- 本裝置若符合有淤泥、有合適水位、移動裝置方便，便能靈活運用於任何地區及季節。相較於較受限於水位的現有抽淤方法，此為更符合需求的方式。

- 轉速 120 rpm、泥水比 2:1 實驗時，出現馬達轉不動螺旋的現象，使泥水比 2:1 大多實驗無法進行。推測是 120 rpm 減速器使轉矩過小導致。
- 設計時須注意螺旋與 U 形槽間的縫隙。太窄會因摩擦發出噪音或損壞裝置；太寬會讓過多泥水漏出縫隙，使汲取效率變差。
- 實際抽淤時，須在入水口前端以濾網過濾，避免小石礫卡住阿基米德螺旋汲水器。
- 轉速 120 rpm 實驗時，若計汲取時間 60 秒，會因短時間內汲取大量泥水大幅降低水槽內水位，故改計汲取 30 秒的數據。可能增加實驗誤差。

玖、參考資料

- Alison Shappy, Pat Knapp, Julie Mullowney, and Colin Delaney. (2013.4.4). Optimization of an Archimedean Screw. *Saint Michael's College*. Retrieved December 16, 2019, from https://web.williams.edu/Mathematics/sjmiller/public_html/hudson/Shappy_Archimedean.pdf
- Lakeside_Screw_Pumps_Brochure_v2019_final-web-1
- Rorres, Chris. (2000). The Turn of the Screw: Optimal Design of An Archimedes Screw. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(1)
- 經濟部水資源局 (1997), 水庫清淤方法分析規範, 7~13 頁, 取自 [http://file.wra.gov.tw/public/PDF/%A4%F4%AEw%B2M%B2J%A4%E8%AAk%A4%0%AAR%B3W%BDD\(%AA%FE%A5%F3%A4G\).pdf](http://file.wra.gov.tw/public/PDF/%A4%F4%AEw%B2M%B2J%A4%E8%AAk%A4%0%AAR%B3W%BDD(%AA%FE%A5%F3%A4G).pdf)
- 《阿基米德螺旋抽水機》, 維基百科. 取自 https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes'_screw
- 呂國禎、劉光瑩、辜樹仁 (2018.2.2). 一疊鈔票，換一把泥沙！石門水庫，清淤要花 300 億。天下雜誌 642 期。取自 <https://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5088430>
- 郭耀程 (2019). 石門水庫泥沙問題與對策. 臺北市: 經濟部水利署北區水資源局
- 張庭華 (2019). 石門水庫區域供水角色變化與展望. 臺北市: 經濟部水利署北區水資源局