

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(一)

第三名

032808

管道狀態對於地熱發電效率的影響

學校名稱：臺東縣立寶桑國民中學

作者： 國二 林大光 國二 林曦妍 國二 陳岳青	指導老師： 楊惠如 李佩娟
---	-----------------------------

關鍵詞：地熱發電、彎管、效率

摘要

本研究是在參訪臺東金崙地熱發電廠時，了解到在抽取與回灌的過程中，地熱管路的安裝的狀態與管內的氣泡會影響馬達抽水的效率，如果可以瞭解相關變因的影響，便可以排除不利的因素，增加發電的總效率、降低成本。我們以此作為研究主題，探討地熱管路轉彎的次數、氣泡、水面高度差對於總效率的影響。研究結果發現：在馬達之前注入氣泡流量雖然不多，但對水流量有很大的影響，如果要增加地熱發電的總效率，建議抽水馬達可以設置在抽水井較深處的地方，壓力大，溶解較佳，比較不會有氣泡產生。

壹、前言

一、研究動機

參訪金崙的地熱發電廠時，了解電廠必須挖一千多公尺深的井，再以抽水馬達將地熱溫泉抽上來，經過熱交換擷取熱能推動渦輪機發電，並將冷卻後的泉水再回注到地底下加熱重複使用，以確保地下水源不會枯竭。在抽取與回灌的過程中，管子的材質與安裝的狀態會影響它的總效率，如果可以降低耗損，提高總效率，便能增加發電的總效率，降低成本。

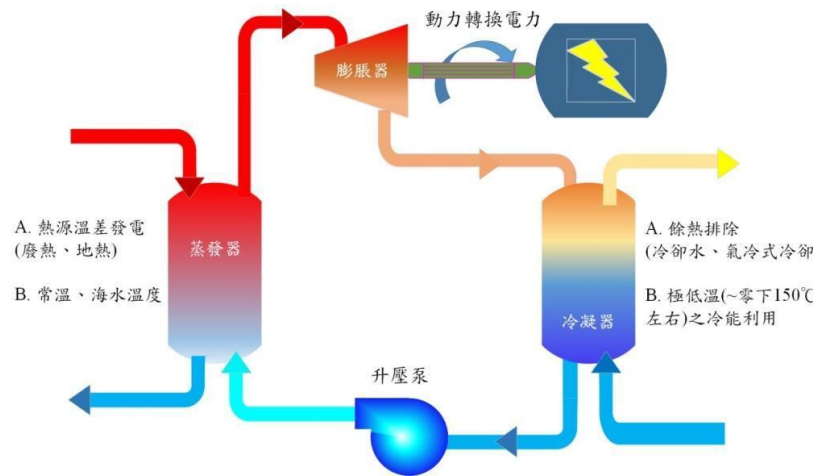
二、研究目的

- (一) 探討彎管轉彎的次數是否會影響流量與總效率
- (二) 管道轉彎角度及轉彎數對水流量及總效率的影響
- (三) 水面高度差對於水流量與總效率的影響
- (四) 彎管中氣泡流量的多寡對水流量及總效率的影響
- (五) 探討在不同水位差時氣泡流量對水流量及總效率的影響

三、文獻回顧

(一) 根據〈台電綠網「地熱發電-介紹篇」〉：

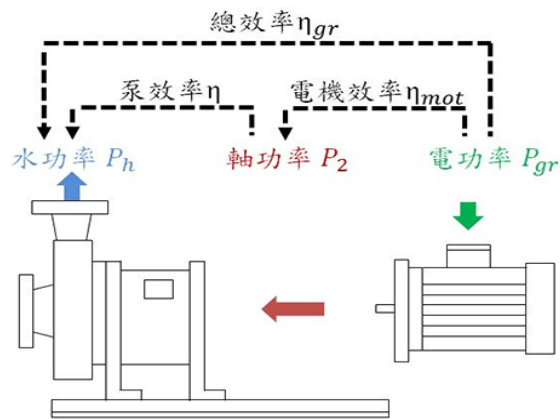
地熱發電將地熱轉換為推動渦輪機的動能，再利用渦輪機發電。臺灣地處板塊交界處，地熱資源豐富，地熱發電是未來可能成為基載電力的綠能。金崙地熱發電廠採用雙循環有機朗肯循環，使熱媒介物質氣化產生高壓推動渦輪機發電。



資料來源：〈有機朗肯循環於台灣能源的應用與發展〉

(二) 根據〈協磁股份有限公司「泵浦知識-水功&電功&軸功&總效率&泵浦效率」〉

通電使馬達轉動帶動抽水
馬達抽水的過程中，馬達傳動會有能量耗損，抽水馬達輸送水也有能量耗損。總效率可以水獲得的功率(水功率)與輸入馬達的電功率的比值表示，
即：總效率=水功率/電功率



(三) 根據〈維基百科「氣鎖現象」〉：

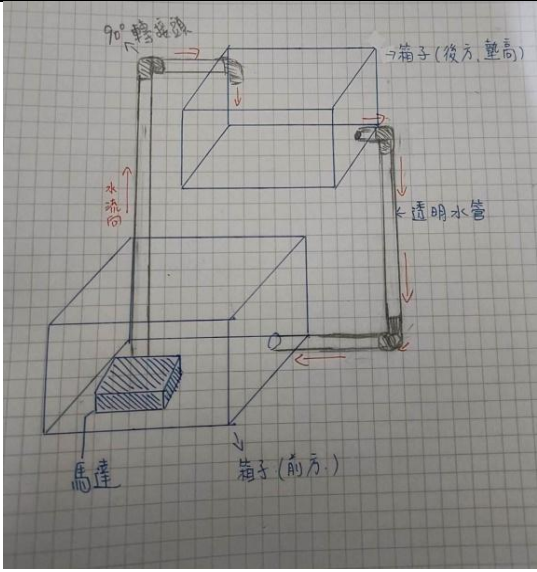

管路中高點出現的氣體造成液體流動受限稱為氣鎖現象，氣鎖現象會降低水傳輸效率。氣泡進入抽水馬達也會降低水的傳輸效率。

貳、研究設備及器材

一、實驗器材

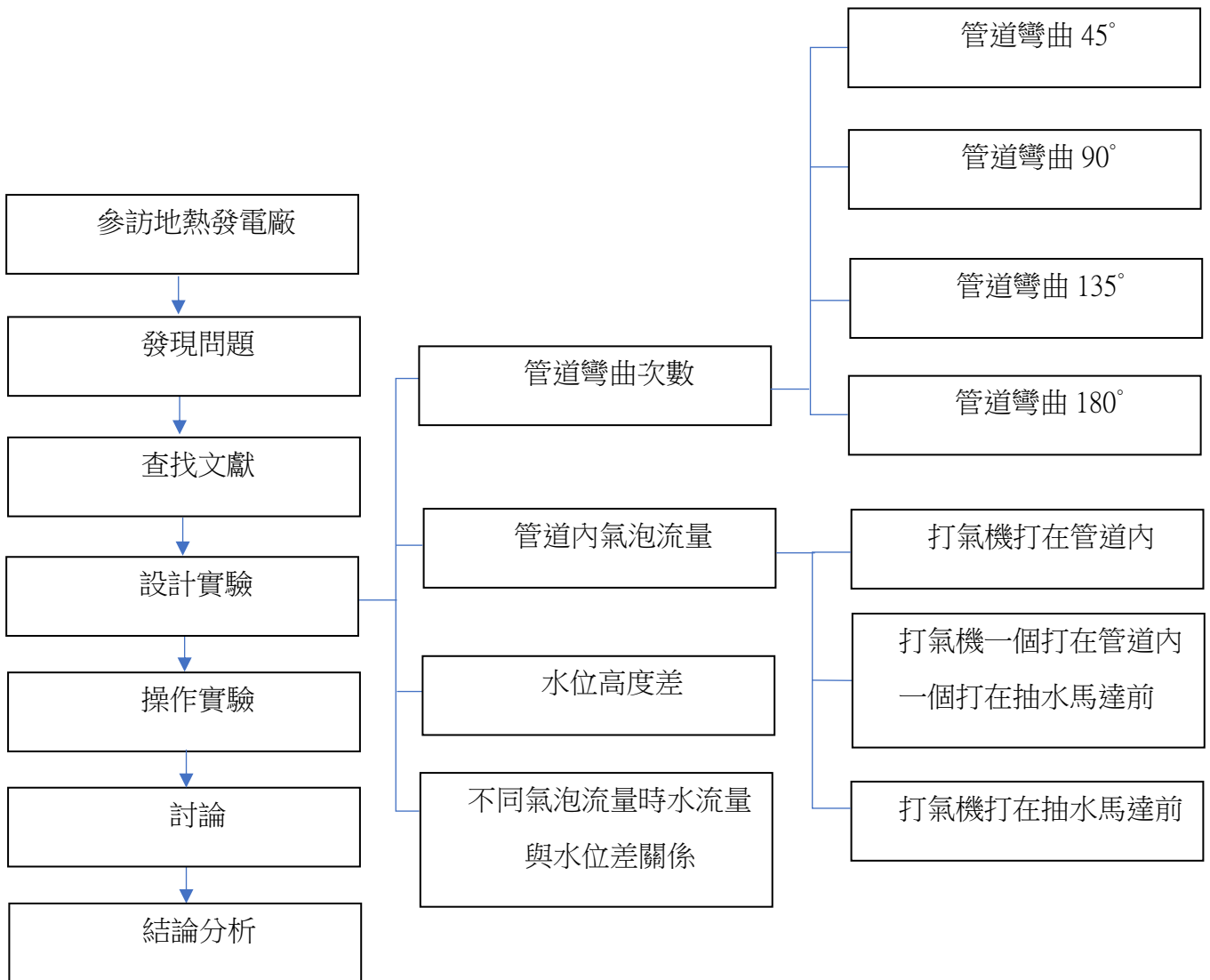
				
水錶 (億豪牌20)	電錶 (HIOKI 3280-10F)	馬達 (Rio+Aqua Pump沉水馬達)	打氣機*2藍波 RAMBO EAP-3)	開關 (控制水流速)
				
45度轉接頭	135度轉接頭	180度轉接頭	90度轉接頭	透明水管 直徑2公分

二、實驗架設

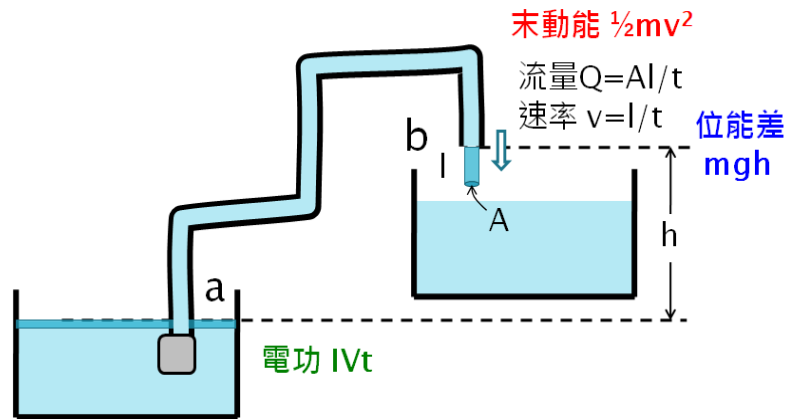
	
實驗設計模擬圖	實驗架設
<p>(一) 兩個箱子一前一後，一上一下模擬地熱水從地底抽到地表。</p> <p>(二) 將馬達裝設在下方箱子，連接透明水管，水管上加裝開關以控制流量，流速慢時較易觀察管道內氣泡的狀態，開關上方連接軟管，軟管連接打氣機以操控管內氣泡流量，上方出水口前裝置水錶，測量通過的水流量。</p> <p>(三) 水經過出水口到上方箱子後，從另一側水管流回下方箱子，形成循環。</p>	

參、研究過程與方法

一、研究過程



二、理論分析：



總效率=水功率/電功率

水獲得之功=水重力位能差+水動能差

(省略水壓縮能差)

經過 t 時間：

消耗電功 IVt

忽略水的初動能，

水獲得能量= $\frac{1}{2}mv^2 + mgh$

水的密度 d ，出水口截面積 A ，出水口速率 v ，流量 Q (單位時間流出體積)。

若 t 時間流出水柱長 l ，體積為 Al ，質量 $m=dAl$

$$\because Q = \frac{Al}{t} = Av \quad \therefore v = \frac{Q}{A}$$

$$\text{單位時間位能差} = \frac{mgh}{t} = \frac{dAlgh}{t} = dQgh$$

$$\text{單位時間動能差} = \frac{mv^2}{2t} = \frac{dAlv^2}{2t} = \frac{dQ \frac{Q^2}{A^2}}{2} = \frac{dQ^3}{2A^2}$$

$$\text{總效率} = \frac{\text{水功率}}{\text{電功率}} = \frac{\frac{dQ^3}{2A^2} + dQgh}{IV}$$

三、實驗一：轉彎角度與次數對流量與總效率的影響

我們製作不同轉彎次數的管道，分別測量各個轉彎次數在30秒內流出的水體積，計算水的平均流量及總效率。測量電流，計算輸入的電功率。

(一) 45度彎管轉彎次數對水流量及總效率的影響

1. 實驗設計

				
轉彎次數 1	轉彎次數 2	轉彎次數 3	轉彎次數 4	轉彎次數 5

(1)控制變因：電壓120V、水位差48公分、水管口徑2公分、90度轉接頭

(2)操作變因：轉彎次數0、1、2、3、4、5

(3)應變變因：水流量、電流

(4)由出水口30秒內流出的水計算平均水流量，測量10次取平均值。

(5)由電流乘電壓計算電功率，由水流量、水管截面積、水位差、水密度等計算水功率，再計算總效率。

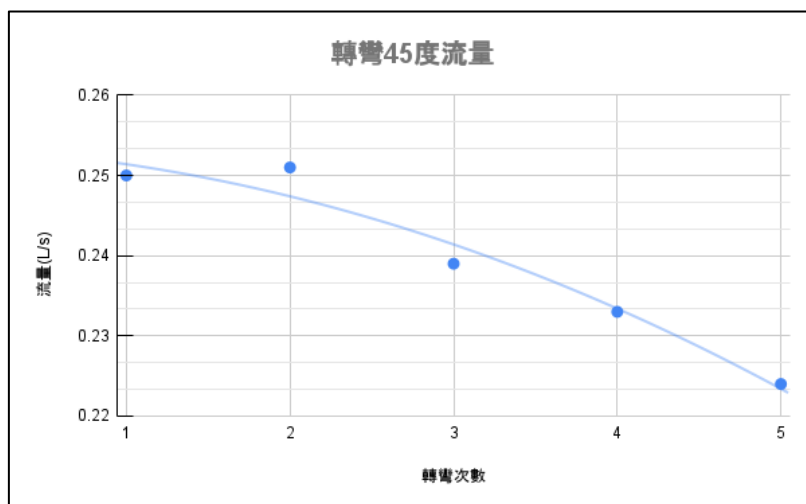
2. 實驗結果

次數	電流(A)	電功率(J/s)	水流量(m ³ /s)	水功率(J/s)	總效率
轉彎數 0	0.33	39.6	0.000254	1.28	0.0322
轉彎數 1	0.33	39.6	0.000251	1.186	0.0299
轉彎數 2	0.33	39.6	0.000251	1.185	0.0299
轉彎數 3	0.33	39.6	0.000239	1.126	0.0284
轉彎數 4	0.33	39.6	0.000233	1.100	0.0278
轉彎數 5	0.33	39.6	0.000224	1.059	0.0267

3.分析

(1)45度彎管轉彎次數對水流量的影響

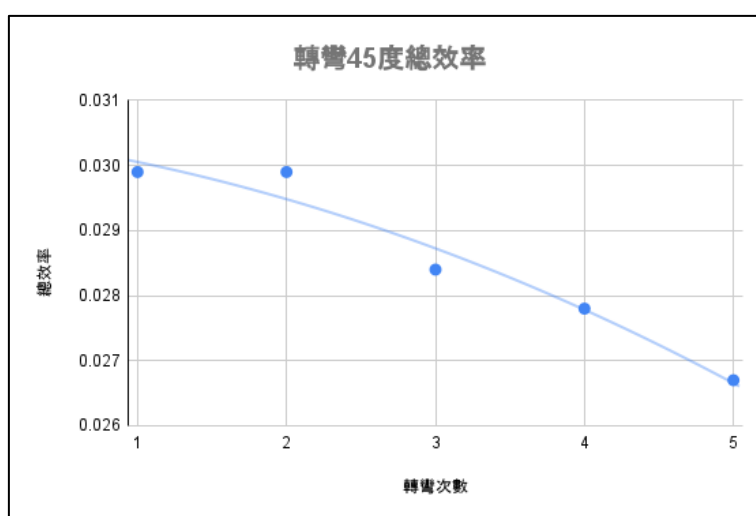
轉彎次數	1	2	3	4	5
流量(L/s)	0.254	0.247	0.246	0.243	0.236



說明：在轉彎 45 度時，轉彎次數越多，流量越低。

(2)45度彎管轉彎次數對流量的影響






轉彎次數	1	2	3	4	5
總效率	0.0299	0.0299	0.0284	0.0278	0.0267



說明：在轉彎 45 度時，轉彎次數越多，總效率越低。

(二) 90度彎管轉彎次數對水流量及總效率的影響

1. 實驗設計

				
轉彎次數 1	轉彎次數 2	轉彎次數 3	轉彎次數 4	轉彎次數 5

(1)控制變因：電壓120V、水位差48公分、水管口徑2公分、90度轉接頭

(2)操作變因：轉彎次數0、1、2、3、4、5

(3)應變變因：水流量、電流

(4)由出水口30秒內流出的水計算平均水流量，測量10次取平均值。

(5)由電流乘電壓計算電功率，由流量、水管截面積、水位差、水密度等計算水功率，再計算總效率。

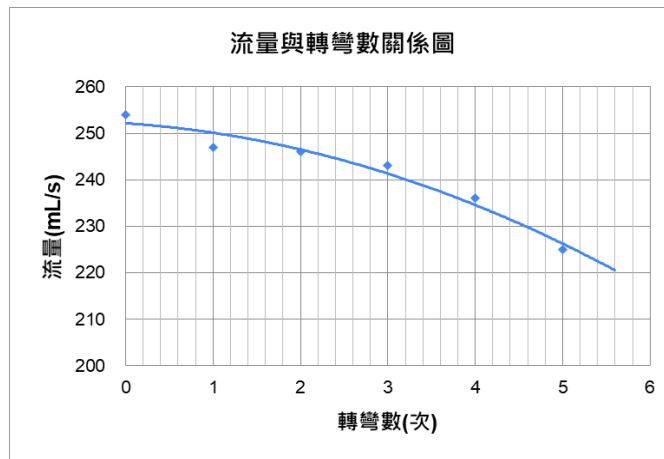
2. 實驗結果

次數	電流(A)	電功率(J/s)	流量(m ³ /s)	水功率(J/s)	總效率
轉彎數 0	0.33	39.6	0.000254	1.28	0.0322
轉彎數 1	0.33	39.6	0.000247	1.24	0.0313
轉彎數 2	0.33	39.6	0.000246	1.23	0.0312
轉彎數 3	0.33	39.6	0.000243	1.22	0.0307
轉彎數 4	0.33	39.6	0.000236	1.18	0.0297
轉彎數 5	0.33	39.6	0.000225	1.12	0.0282

3. 分析

(1)90度彎管轉彎次數對水流量的影響

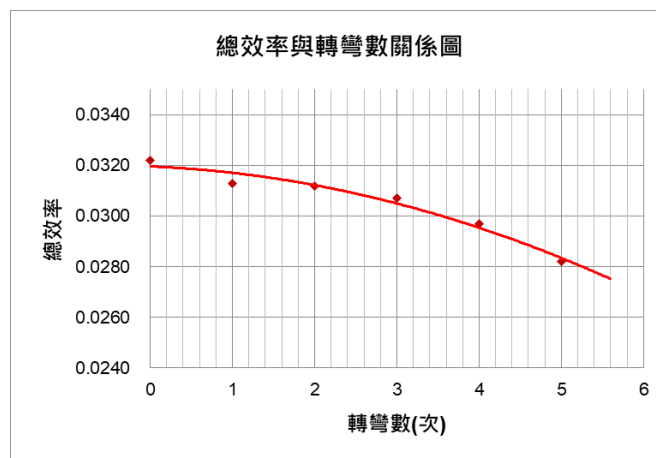
轉彎次數	0	1	2	3	4	5
流量(L/s)	0.254	0.247	0.246	0.243	0.236	0.225



說明：在轉彎角度為 90 度時，轉彎次數越多，流量就越低

(2)改變90度彎管轉彎次數對總效率的影響






轉彎次數	0	1	2	3	4	5
總效率	0.0322	0.0313	0.0312	0.0307	0.0297	0.0282



說明：在轉彎角度為 90 度時，轉彎次數越多，總效率越低

(三) 135度彎管轉彎次數對水流量及總效率的影響

1. 實驗設計：

				
轉彎次數 1	轉彎次數 2	轉彎次數 3	轉彎次數 4	轉彎次數 5

(1)控制變因：電壓120V、水位差48公分、水管口徑2公分、135度轉接頭

(2)操作變因：轉彎次數1、2、3、4、5

(3)應變變因：水流量、電流

(4)由出水口30秒內流出的水計算平均水流量，測量10次取平均值。

(5)由電流乘電壓計算電功率，由流量、水管截面積、水位差、水密度等計算水功率，再計算總效率。

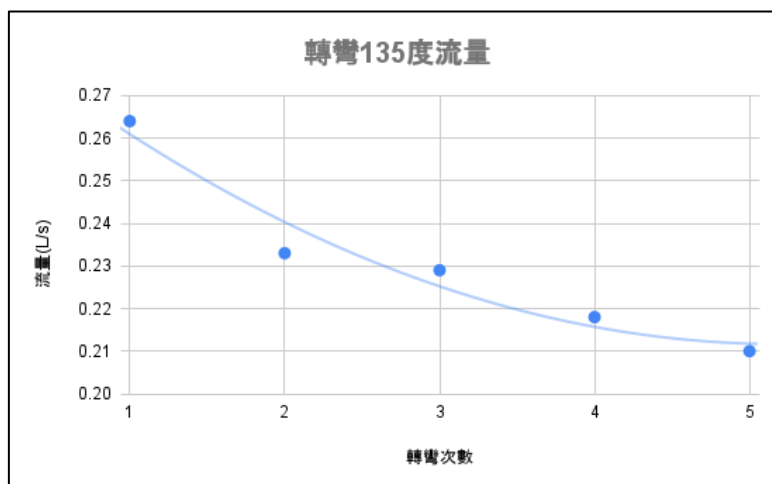
2. 實驗結果

次數	電流(A)	電功率(J/s)	流量(m ³ /s)	水功率(J/s)	總效率
轉彎數 0	0.33	39.6	0.000254	1.28	0.0322
轉彎數 1	0.33	39.6	0.000264	1.249	0.0315
轉彎數 2	0.33	39.6	0.000233	1.102	0.0278
轉彎數 3	0.33	39.6	0.000229	1.083	0.0273
轉彎數 4	0.33	39.6	0.000218	1.029	0.0260
轉彎數 5	0.33	39.6	0.000210	0.989	0.0250

3.分析

(1)135度彎管轉彎次數對流量的影響

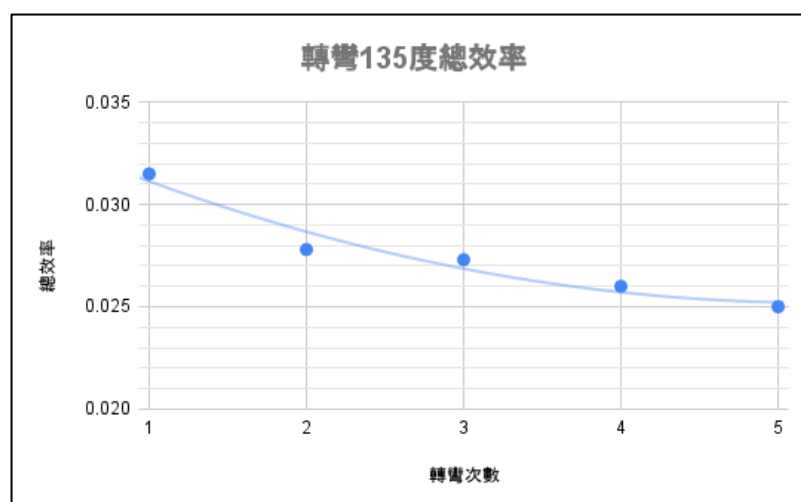
轉彎次數	1	2	3	4	5
流量(L/s)	0.264	0.233	0.229	0.218	0.210



說明：在轉彎角度為 135 度時，轉彎次數越多，流量越低

(2)改變135度彎管轉彎次數對總效率的影響






轉彎次數	1	2	3	4	5
總效率	0.0315	0.0278	0.0273	0.026	0.025



說明：在轉彎角度為 135 度時，轉彎次數越多，總效率越低

(四) 180度彎管轉彎次數對水流量及總效率的影響

1.實驗設計：

				
轉彎次數 1	轉彎次數 2	轉彎次數 3	轉彎次數 4	轉彎次數 5

(1)控制變因：電壓120V、水位差48公分、水管口徑2公分、45度轉接頭

(2)操作變因：轉彎次數1、2、3、4、5

(3)應變變因：水流量、電流

(4)由出水口30秒內流出的水計算平均水流量，測量10次取平均值。

(5)由電流乘電壓計算電功率，由流量、水管截面積、水位差、水密度等計算水功率，再計算總效率。

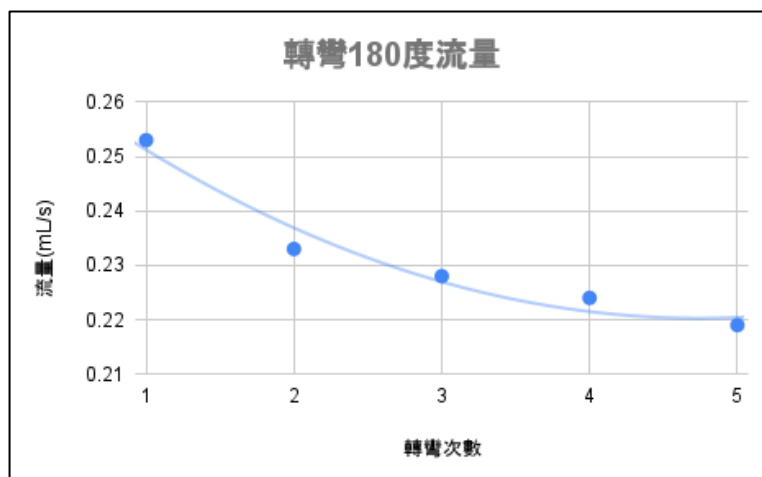
2.實驗結果

次數	電流(A)	電功率(J/s)	水流量(m ³ /s)	水功率(J/s)	總效率
轉彎數 0	0.33	39.6	0.000254	1.28	0.0322
轉彎數 1	0.33	39.6	0.000253	1.195	0.0302
轉彎數 2	0.33	39.6	0.000233	1.102	0.0278
轉彎數 3	0.33	39.6	0.000228	1.076	0.0272
轉彎數 4	0.33	39.6	0.000224	1.056	0.0267
轉彎數 5	0.33	39.6	0.000219	1.035	0.0261

3.分析

(1)180度彎管轉彎次數對流量的影響

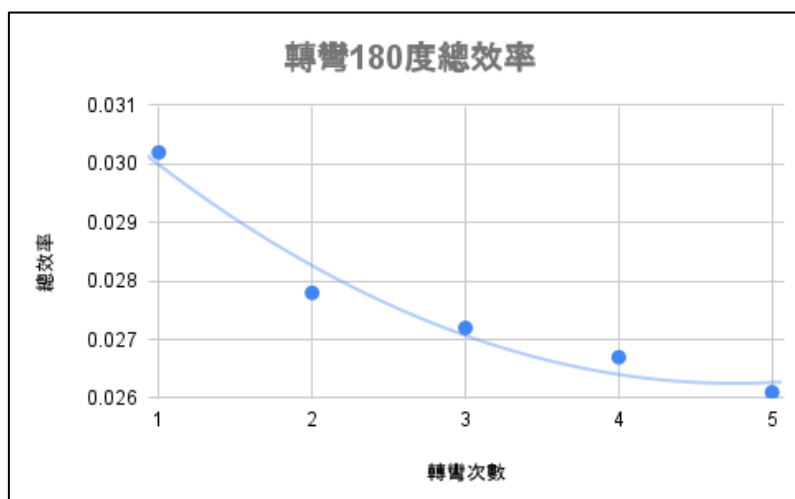
轉彎次數	1	2	3	4	5
流量(L/s)	0.253	0.233	0.228	0.224	0.219



說明：轉彎次數越少，流量越多。

(1)180度彎管轉彎次數對總效率的影響

轉彎次數	1	2	3	4	5
總效率	0.0302	0.0278	0.0272	0.0267	0.0261

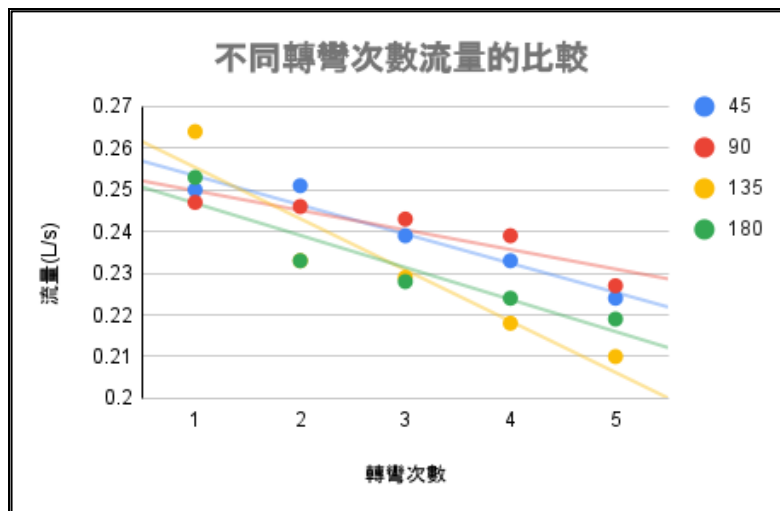


說明：轉彎次數越多，總效率越低。

(五) 不同彎管角度實驗結果統整

1. 不同彎管角度時轉彎次數的流量

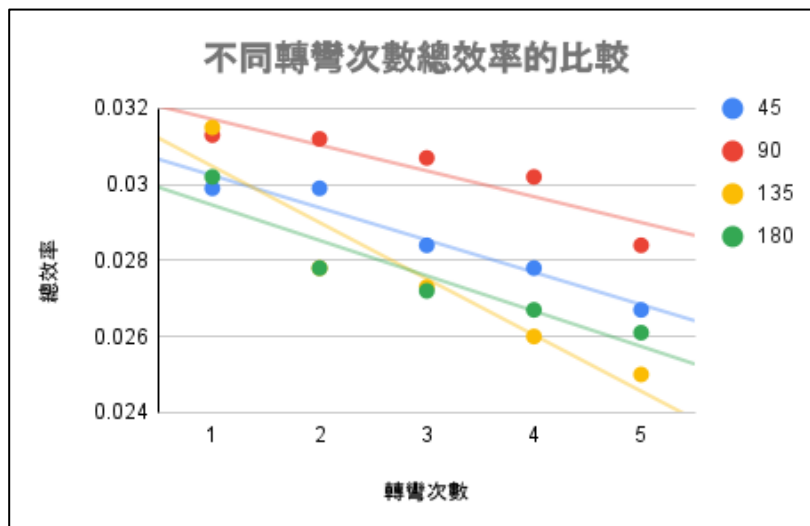
轉彎次數 轉彎角度	1	2	3	4	5
45 度	0.25	0.251	0.239	0.233	0.224
90 度	0.247	0.246	0.243	0.239	0.227
135 度	0.264	0.233	0.229	0.218	0.21
180 度	0.253	0.233	0.228	0.224	0.219



說明：彎管次數越多流量越低，且轉彎 90 度的流量在轉彎次數多的時候大於其他角度，而 135 度的流量變化較大，轉彎次數多的時候流量是最少的。

2. 不同彎管角度時轉彎次數的總效率

轉彎次數/總效率	1	2	3	4	5
45 度	0.0299	0.0299	0.0284	0.0278	0.0267
90 度	0.0313	0.0312	0.0307	0.0302	0.0284
135 度	0.0315	0.0278	0.0273	0.026	0.025
180 度	0.0302	0.0278	0.0272	0.0267	0.0261



說明：在不同轉彎次數時，90度的總效率明顯高於其他角度，135度轉彎數對總效率的影響最大，總效率改變最多。

四、實驗二：氣泡流量對水流量與總效率的影響

我們控制不同氣泡流量通過管道，分別測量各個氣泡流量在30秒內流出的水體積，由於加入氣泡後水錶數值為水流量與氣泡流量混合之值，所以用量桶接水測量水流量。計算水的平均流量及總效率。測量電流，計算輸入的電功率。

(一) 管道內氣泡流量對水流量與總效率的影響

1. 實驗設計

(1) 控制變因：電壓120V、水位差48公分、水管口徑2公分

(2) 操作變因：氣泡流量(mL/s)：155.26、139.28、119.88、106.28、92.16、77.4

(3) 應變變因：水流量、電流

(4) 由出水口30秒內流出的水計算平均水流量，測量10次取平均值。

(5) 由電流乘電壓計算電功率，由流量、管子截面積、水位差、水密度等計算水功率，再計算總效率。

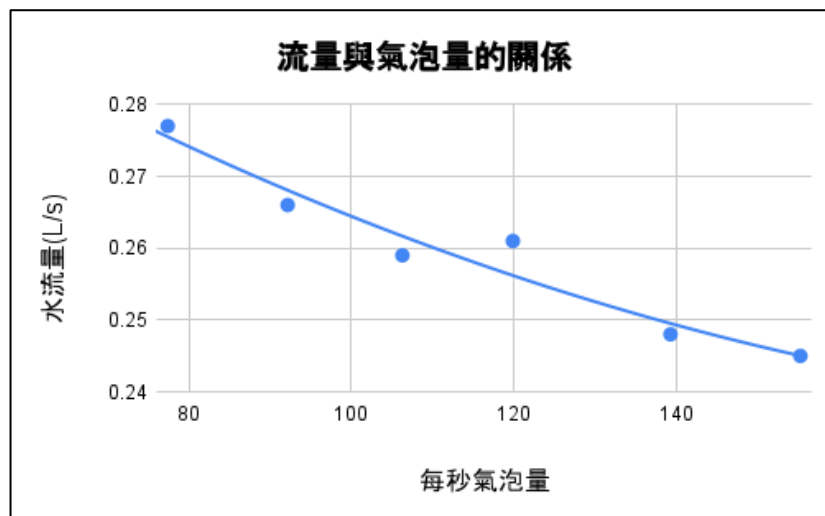
2.實驗結果

氣泡流量 (mL/s)	電流(A)	電功率(J/s)	流量(m ³ /s)	水功率(J/s)	總效率
155.26	0.33	39.6	0.000245	1.227	0.0310
139.28	0.33	39.6	0.000248	1.244	0.0314
119.88	0.33	39.6	0.000261	1.320	0.0333
106.28	0.33	39.6	0.000259	1.304	0.0329
92.16	0.33	39.6	0.000266	1.347	0.0340
77.4	0.33	39.6	0.000277	1.413	0.0357

3.分析

(1)改變彎管內氣泡流量對流量的影響

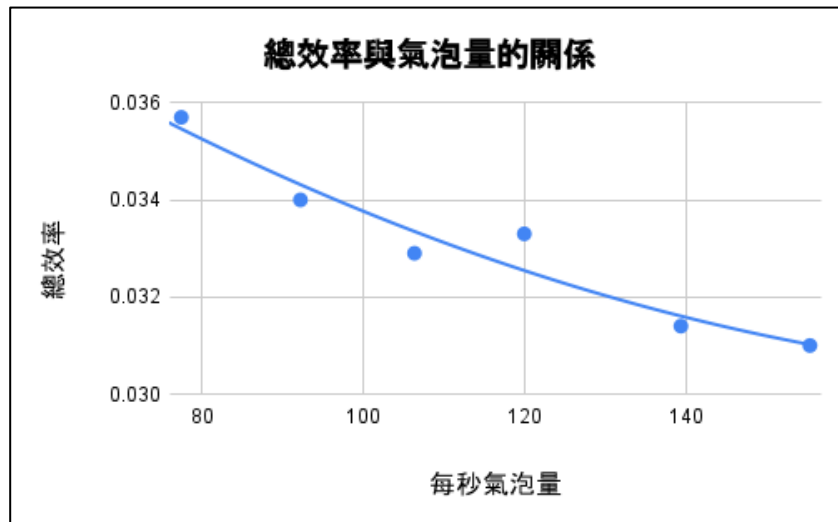
氣泡流量 (mL/s)	155.26	139.28	119.88	106.28	92.16	77.4
流量(L/s)	0.245	0.248	0.261	0.259	0.266	0.277



說明：氣泡流量越多，流量越低。

(2)改變彎管內氣泡流量對總效率的影響

氣泡流量 (mL/s)	155.26	139.28	119.88	106.28	92.16	77.4
總效率	0.0310	0.0314	0.0333	0.0329	0.034	0.0357



說明：氣泡流量越多，總效率越低。

(二) 打氣機分別在馬達處和管內打氣對流量與總效率的影響

1. 實驗設計

(1) 控制變因：電壓120V、水位差48公分、水管口徑2公分

(2) 操作變因：氣泡打氣位置，「上」為抽水馬達後，至出水口；「下」為抽水馬達前。

打氣位置	上大	上大	上大	上中	上中	上中	上小	上小	上小
	下大	下中	下小	下大	下中	下小	下大	下中	下小
氣泡流量 (mL/s)	87.87	86.67	85.89	58.81	58.66	57.97	40.66	40.33	39.46

(3) 應變變因：水流量、電流

(4) 由出水口30秒內流出的水計算平均水流量，測量10次取平均值。

(5) 由電流乘電壓計算電功率，由流量、管子截面積、水位差、水密度等計算水功率，再計算總效率。

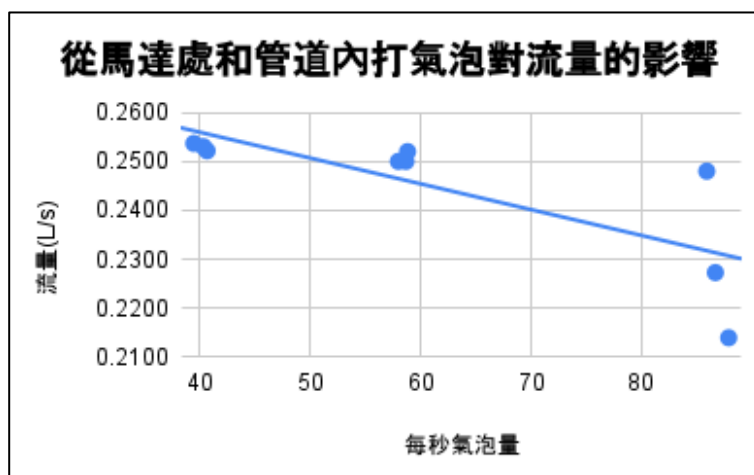
2.實驗結果

氣泡流量(mL/s)	電流(A)	電功率(J/s)	流量(m ³ /s)	水功率(J/s)	總效率
87.87	0.33	39.6	0.000214	1.058	0.0267
86.67	0.33	39.6	0.000227	1.130	0.0285
85.89	0.33	39.6	0.000248	1.244	0.0314
58.81	0.33	39.6	0.000252	1.267	0.0320
58.66	0.33	39.6	0.000250	1.255	0.0317
57.97	0.33	39.6	0.000250	1.255	0.0317
40.66	0.33	39.6	0.000252	1.265	0.0319
40.33	0.33	39.6	0.000253	1.272	0.0321
39.46	0.33	39.6	0.000254	1.276	0.0322

3.分析

(1)改變彎管內氣泡流量對流量的影響

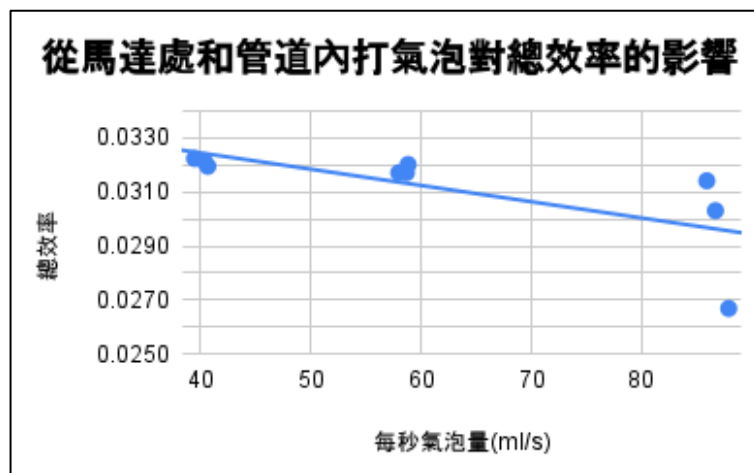
氣泡流量 (mL/s)	87.87	86.67	85.89	58.81	58.66	57.97	40.66	40.33	39.46
流量(L/s)	0.214	0.227	0.248	0.252	0.250	0.250	0.252	0.253	0.254



說明：氣泡流量在大約每秒 40、60 毫升時對流量的影響並沒有很明顯，但在 85、86、87 時卻明顯改變，這說明了下方的氣泡對總氣泡流量影響較小，大部分不同是由上方的氣泡造成。

(2)改變彎管內氣泡流量對總效率的影響

氣泡流量 (mL/s)	87.87	86.67	85.89	58.81	58.66	57.97	40.66	40.33	39.46
總效率	0.0267	0.0303	0.0314	0.0320	0.0317	0.0317	0.0319	0.0321	0.0322



說明：氣泡流量在大約每秒 40、60 毫升時對總效率的影響並沒有很明顯，但在 85、86、87 時卻明顯改變，這顯示當上方管道處的氣泡量大時，下方馬達處的氣泡對總效率造成的影響更為顯著。

(三) 打氣機在馬達處打氣對流量與總效率的影響

1. 實驗設計

(1) 控制變因：電壓 120V、水位差 48 公分、水管口徑 2 公分

(2) 操作變因：氣泡流量 (ml/s)：4.73、3.76、3.31、3.75、2.91、2.13

(3) 應變變因：水流量、電流

(4) 由出水口 30 秒內流出的水計算平均水流量，測量 10 次取平均值。

(5) 由電流乘電壓計算電功率，由流量、管子截面積、水位差、水密度等計算水功率，再計算總效率。

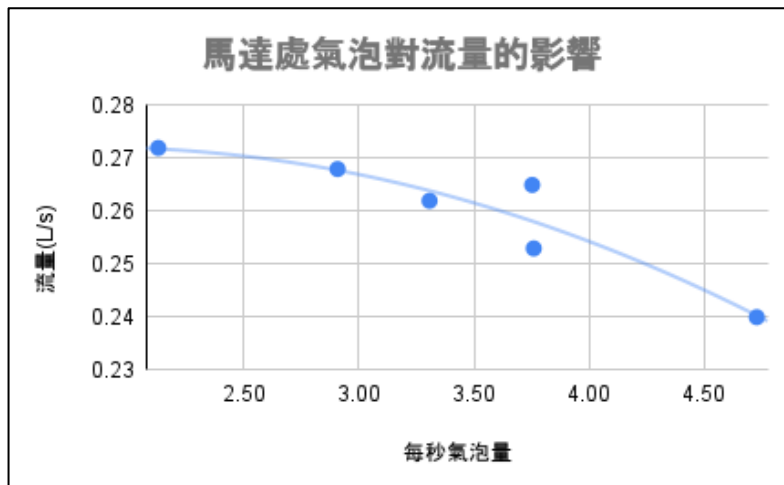
2.實驗結果

氣泡流量(mL/s)	電流(A)	電功率(J/s)	流量(m ³ /s)	水功率(J/s)	總效率
4.73	0.33	39.6	0.000240	1.201	0.0303
3.76	0.33	39.6	0.000253	1.274	0.0322
3.31	0.33	39.6	0.000262	1.324	0.0334
3.75	0.33	39.6	0.000265	1.339	0.0338
2.91	0.33	39.6	0.000268	1.360	0.0343
2.13	0.33	39.6	0.000272	1.380	0.0348

3.分析

(1)改變馬達處氣泡流量對流量的影響

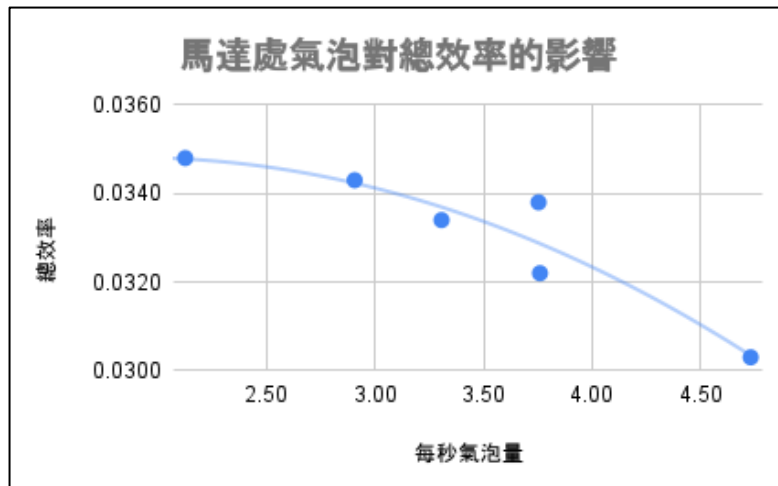
氣泡流量(mL/s)	4.73	3.76	3.31	3.75	2.91	2.13
流量(L/s)	0.24	0.253	0.262	0.265	0.268	0.272



說明：氣泡由馬達處被吸入時，氣泡流量越多，流量越低。

(2)改變馬達處氣泡流量對總效率的影響

氣泡流量(mL/s)	4.73	3.76	3.31	3.75	2.91	2.13
總效率	0.0303	0.0322	0.0334	0.0338	0.0343	0.0348








說明：氣泡由馬達處被吸入時，氣泡流量越多，總效率越低。

五、實驗三：水位高度差對水流量與總效率的影響

我們製作不同水位高度的管道，分別測量各個水位高度在30秒內流出的水體積，計算水的平均流量及總效率。測量電流，計算輸入的電功率

(一) 水位高度差對總效率的影響

1. 實驗設計

				
水位高度差 63	水位高度差 78	水位高度差 93	水位高度差 108	水位高度差 123

(1)控制變因：電壓120V、轉彎次數3次、水管口徑2公分

(2)操作變因：水位高度差(公分)：48、63、78、93、108、123

(3)應變變因：水流量、電流

(4)由出水口30秒內流出的水計算平均水流量，測量10次取平均值。

(5)由電流乘電壓計算電功率，由流量、管子截面積、水位差、水密度等計算水功率，再計算總效率。

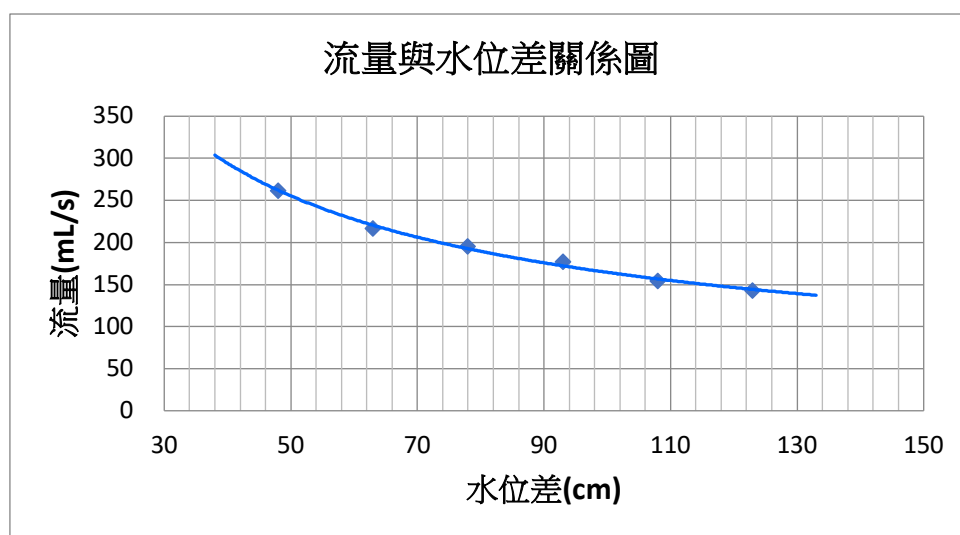
2.實驗結果

水位差(cm)	電流(A)	電功率(J/s)	流量(m ³ /s)	水功率(J/s)	總效率
48	0.33	39.6	0.000262	1.65	0.0330
63	0.31	37.6	0.000217	1.39	0.0370
78	0.31	37.2	0.000195	1.51	0.0405
93	0.31	37.2	0.000177	1.64	0.0440
108	0.31	36.7	0.000154	1.65	0.0449
123	0.31	37.1	0.000143	1.74	0.0469

3.分析

(1)改變彎管水位高度差對流量的影響

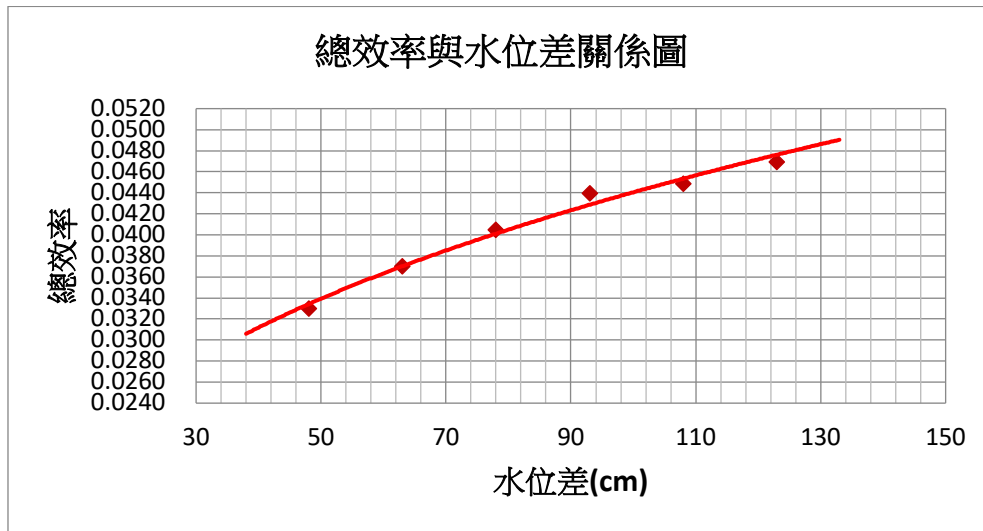
水位高度差	48	48+15	48+30	48+45	48+60	48+75
流量(L/s)	0.262	0.217	0.195	0.177	0.154	0.143



說明：水位高度差越大，流量就越低

(2)改變彎管水位高度差對總效率的影響(水得到的能量較多)

水位高度差	48	48+15	48+30	48+45	48+60	48+75
總效率	0.0330	0.0370	0.0405	0.0440	0.0449	0.0469

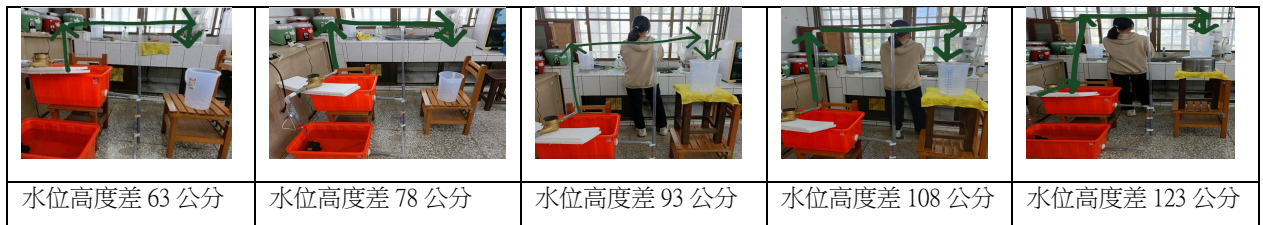


說明：水位高度差越多，總效率越高。

推論：由上方理論分析，我們可以知道總效率受到單位時間動能差與單位時間位能差影響，而單位時間動能差因水管截面積、水密度、流量而改變，實驗中截面積和水密度並不會改變，所以流量對於動能差影響較大，從流量一圖，我們可以推論得知動能大小可以從流量推出，動能的大小跟能量的消耗有正相關

(二) 不同水位高度加入氣泡對總效率的影響

1. 實驗設計



(1)控制變因：電壓120V、水管口徑2公分

(2)操作變因：

氣泡流量(ml/s)：43.7、64.3、105

水位高度差(公分)：48、63、78、93、108、123

(3)應變變因：水流量電流

2.實驗結果

(1)不同氣泡流量時水流量與水位差關係

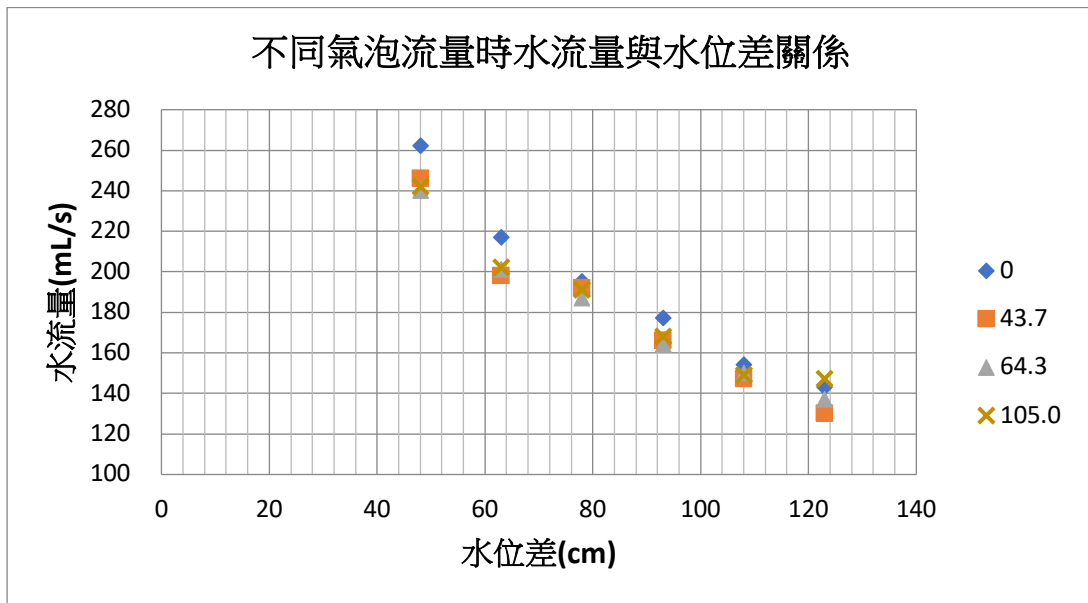
水位差 (cm) 氣泡流量 (mL/s)	48	63	78	93	108	123
0	262	217	195	177	154	143
43.7	246	198	192	166	147	130
64.3	240	201	187	164	150	137
105.0	242	202	191	168	149	147

(2)不同氣泡流量時總效率與水位差關係

水位差 (cm) 氣泡流量 (mL/s)	48	63	78	93	108	123
0	0.0330	0.0370	0.0405	0.0440	0.0449	0.0469
43.7	0.0288	0.0318	0.0379	0.0387	0.0397	0.0399
64.3	0.0259	0.0299	0.0341	0.0353	0.0374	0.0387
105.0	0.0244	0.0279	0.0324	0.0336	0.0346	0.0388

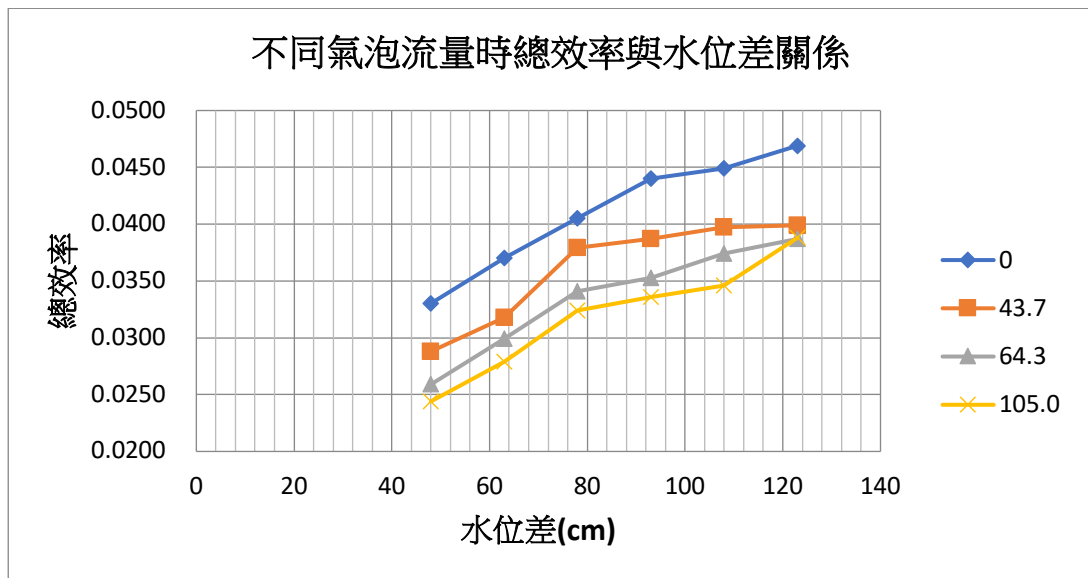
3.分析

(1)不同氣泡流量時水流量與水位差關係



說明：水位高度差越大時，水流量就越低。但氣泡流量越大並不代表水流量越低。在每一個水位差時，氣泡流量對水流量都影響不大

(2)不同氣泡流量時總效率與水位差關係

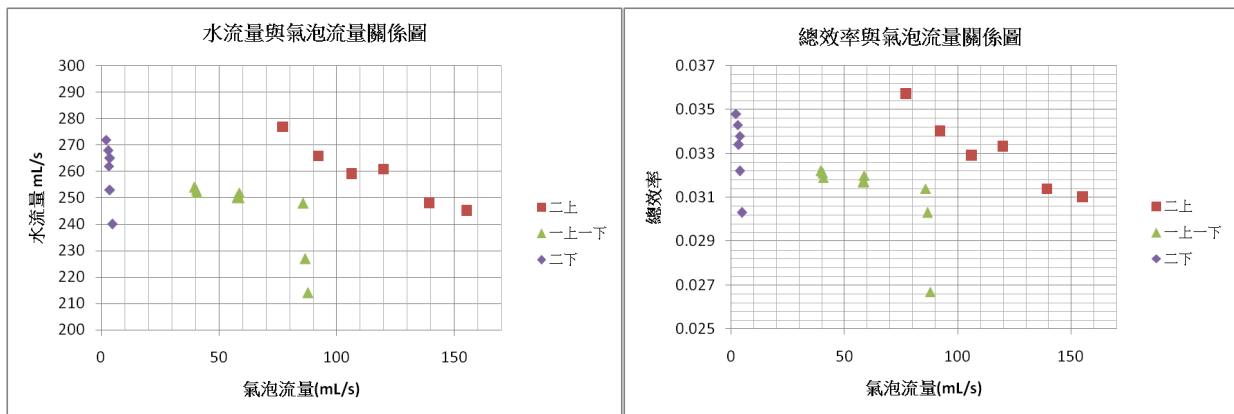


說明：氣泡流量越多，總效率就越低。水位高度差越大，總效率越高。

肆、討論

一、實驗結果討論

(一) 如下圖，氣泡從馬達處(兩個打氣機都在下方馬達處，簡稱二下)吸入的量非常少，但是會對流量和總效率造成影響。氣泡直接打進管內(兩個打氣機都在上方管道內，二上)的量較多，氣泡流量越多則水流量越低，且總效率也越低。我們的研究最重要的發現在於雖馬達之前注入氣泡流量雖然不多，但對水流量有很大的影響，因此，我們建議如果要增加地熱發電的總效率，抽水馬達可以設置在抽水井較深處的地方，壓力大，溶解較佳，比較不會有氣泡產生。



- (二) 在45度、90度、135度、180度彎管轉彎次數對水流量及總效率的影響實驗，我們根據研究結果發現：轉彎次數愈多水流量及總效率都愈小，因此可知轉彎會耗損運輸水的能量。
- (三) 在各角度不同轉彎次數時，彎管次數越多流量及總效率越低。90度的總效率明顯高於其他角度，且轉彎90度的流量在轉彎次數多的時候大於其他角度。而135度轉彎數對總效率的耗損最大。
- (四) 在水位差對水流量及總效率的影響實驗中，我們發現水位差愈高水流量愈小，但是總效率卻愈大。水位差愈大表示水獲得位能愈多，也表示獲得動能愈少。從總效率愈小可推測能量的耗損與動能關係比較大。
- (五) 我們觀察不同氣泡流量在每個水位高度的流量及總效率變化。一開始算出的數據我們發現總效率反而增加了。後來將打氣機的電功率和抽水馬達的電功率相加為總電功率，再將水功率除以總電功率計算總效率，得出的結果就比較合預期了。

二、實驗過程中的困難及解決方式

- (一) 水箱尺寸的選擇：起初，我們使用養殖昆蟲觀察箱作為水容器，但由於馬達水流量高於箱子容量，因此後來改而使用較大的箱子。

- (二) 轉接頭與水管無法契合：我們使用白色膠布把水管稍微加粗，這樣改良雖勉強可以通水，但是用久了會漏水，因此，後來改用與轉接頭契合的水管，順利解決這個問題。
- (三) 水管結構的不穩定：我們發現通水過程中水管會因馬達不穩而晃動，因此我們使用裁切剩下的水管卡在箱子裡固定住容易晃動的部分，使實驗架設更穩固。
- (四) 觀察氣泡的不易：起初我們發現要在水流速很快的情況下觀察氣泡是相當不容易的，為了方便觀察氣泡在管內的變化及控制水流，我們在馬達上方水管裝設開關以控制流速，使流速慢，較方便於觀察氣泡。
- (五) 拔插頭過程造成的誤差：實驗過程中我們發現關掉馬達、打氣機時拔插頭的速度也會對實驗結果造成誤差，所以在插座的旁邊設置開關，減少誤差。
- (六) 打入氣泡方法之考量：原本實驗設計的打氣方法是利用針筒將氣泡打入管內，可是後來發現針筒容量太小，打入水管的氣泡根本無法讓我們觀察到流量的改變，所以換成打氣機。
- (七) 馬達故障的排除：實驗中馬達曾故障，原計畫換成另一流速更快的馬達，但經過廠商修理，發現只是馬達內部有異物，清除異物後就能繼續使用。

伍、結論

- (一) 氣泡流量越多，流量越低總效率也越低，氣泡會使總效率降低。尤其在馬達處的氣泡對於總效率的影響更為顯著，因此，我們建議如果要增加地熱發電的總效率，抽水馬達可以設置在抽水井較深處的地方，壓力大，溶解較佳，比較不會有氣泡產生。
- (二) 轉彎次數越多，流量越低總效率也越低，轉彎會耗損水的動能。
- (三) 不同轉彎角度時，轉彎次數越多，流量越少總效率也越低。
- (四) 轉彎90度為流量和總效率的最佳狀態。
- (五) 轉彎135度變動最大，轉彎次數最少時總效率最高，轉彎最多時總效率最低。
- (六) 水位高度差越大，流量越低但總效率越高，動能的大小跟能量的消耗有正相關。
- (七) 在每個水位高度差時，氣泡對流量的影響都不明顯。氣泡流量越多，總效率就越低。水位高度差越大，總效率越高。

陸、參考文獻資料

- (一) 第二期能源國家型科技計畫 計畫辦公室(2017年9月30日)・台電綠網・地熱發電-介紹篇・取自：<https://reurl.cc/gZavDN>
- (二) ASSOMA協磁股份有限公司・相關文章-泵浦知識・水功&電功&軸功&總效率&泵浦效率・取自：<https://reurl.cc/Q4ZpXM>
- (三) 氣鎖現象-維基百科・自由的百科全書・取自：<https://reurl.cc/V84aLy>
- (四) 林志宏，有機朗肯循環於台灣能源的應用與發展。取自：
<https://reurl.cc/944Ldx>
- (五) 吳家榮，微小型有機朗肯循環針對廢熱使用之實驗探討，國立台北科技大學碩士論文，104年
- (六) 南一自然課本第四冊

【評語】 032808

本作品探討地熱管道的安裝狀態與管內的氣泡會影響馬達抽水效率，蠻具獨特性的議題。

本研究報告整體雖然有些不清楚之處，但整體的研究規畫算很完整。

數據分析的圖和表的繪製也幾乎正確，值得嘉獎。

對此研究，我們有以下之建議：

- (1) 實驗氣泡對於管路中水流量的影響以及水流是否充滿管內或是部分充滿也是個議題。
- (2) 彎管有很多計算經驗公式可以估算，對於本研究應該會有所幫助。
- (3) 轉彎數少效率高屬合理，但轉彎一般是場地配線需求，是否屆時能作為可優化的變因？
- (4) 連續轉彎的設定較不合理，水在其中會遭遇連續的轉彎暫態反應，和隔一段距離才一個轉彎的效應應該不會相同。

(5) page7-13 的表格和圖整合在一起即可，整合後只需用 page14-15

的表格和圖就好。

作品海報



管道狀態



對於地熱發電效率的影響

摘要

本研究是在參訪臺東金崙地熱發電廠時，了解到抽取與回灌溫泉水的過程中，地熱管路的安裝方式與管內的氣泡會影響馬達抽水的效率，如果可以瞭解相關變因的影響，便可以排除不利的因素，增加發電的總效率並降低成本。我們以此作為研究主題，探討地熱管路轉彎的次數、氣泡流量、水面高度差等因素對於總效率的影響。研究結果發現：在馬達前方注入的氣泡流量雖不多，但對水流量有很大的影響，如果要增加地熱發電的總效率，建議抽水馬達可以設置在抽水井較深處，因為壓力大，溶解較佳，較不會有氣泡產生。

壹、前言

一、研究動機

參訪金崙的地熱發電廠時，了解電廠必須挖一千多公尺深的井，再以抽水馬達將地熱溫泉水抽上來，經過熱交換擷取熱能來推動渦輪機發電，並將冷卻後的泉水再回灌到地底下加熱重複使用，以確保地下水源不會枯竭。在抽取與回灌的過程中，管子的材質與安裝的方式會影響它的總效率，如果可以降低耗損，提高總效率，便能增加發電的總效率，降低成本。

二、研究目的

- (一) 探討管道轉彎角度及轉彎次數對水流量及總效率的影響。
- (二) 彎管中氣泡流量的多寡對水流量及總效率的影響。
- (三) 水面高度差對於水流量與總效率的影響。
- (四) 探討在不同水位差時氣泡流量對水流量及總效率的影響。

三、文獻回顧

(一) 根據〈台電綠網「地熱發電-介紹篇」〉：地熱發電是將地熱轉換為推動渦輪機的動能，再利用渦輪機發電。臺灣地處板塊交界處，地熱資源豐富，地熱發電是未來可能成為基載電力的綠能。金崙地熱發電廠採用雙循環有機朗肯循環，使熱媒介物質氣化產生高壓推動渦輪機發電。

(二) 根據〈協磁股份有限公司「泵浦知識-水功&電功&軸功&總效率&泵浦效率」〉：通電使馬達轉動帶動泵浦抽水的過程中，馬達傳動會有能量耗損，泵浦輸送水也有能量耗損。總效率是水獲得的功率(水功率)與輸入馬達的電功率的比值表示。

(三) 本研究探討的總效率則包含管道傳輸效率，**總效率=水功率/電功率** 推導如下：

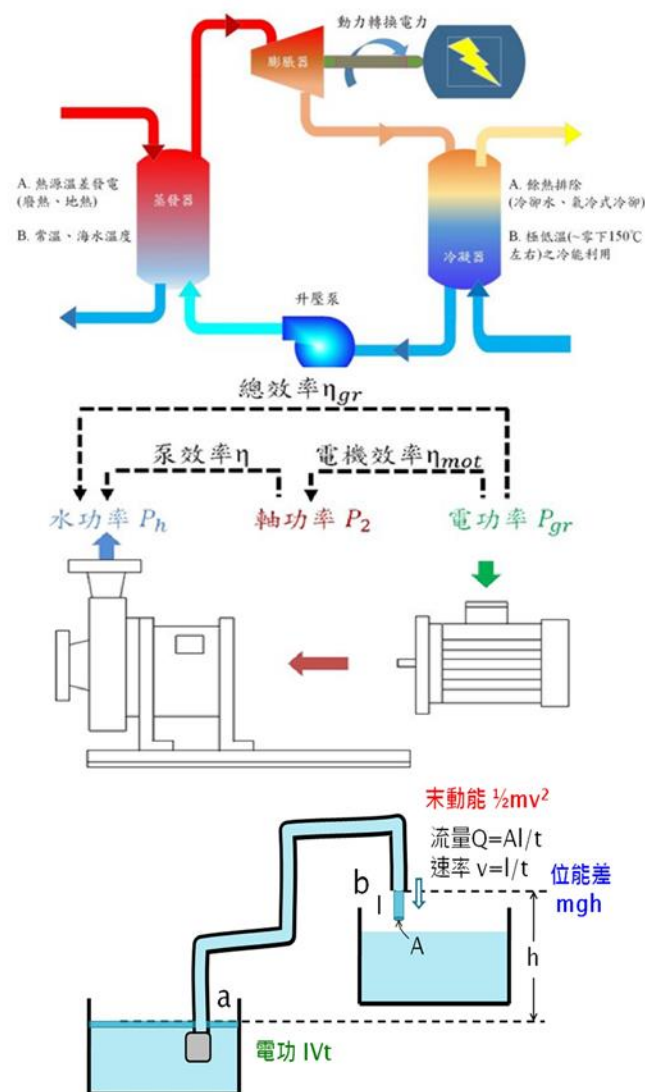
若 t 時間流出水柱長 l，體積為 Al，質量 m=dAl

$$\because Q = \frac{Al}{t} = Av \quad \therefore v = \frac{Q}{A}$$

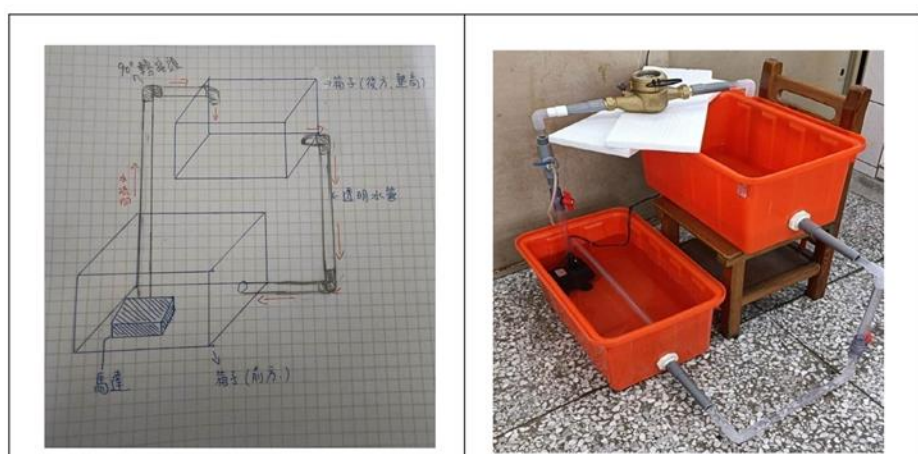
$$\text{單位時間位能差} = \frac{mgh}{t} = \frac{dAlgh}{t} = dQgh$$

$$\text{單位時間動能差} = \frac{mv^2}{2t} = \frac{dAlv^2}{2t} = \frac{dQ \frac{Q^2}{A^2}}{2} = \frac{dQ^3}{2A^2}$$

$$\text{總效率} = \frac{\text{水功率}}{\text{電功率}} = \frac{\frac{dQ^3}{2A^2} + dQgh}{IV}$$



貳、研究設備及器材

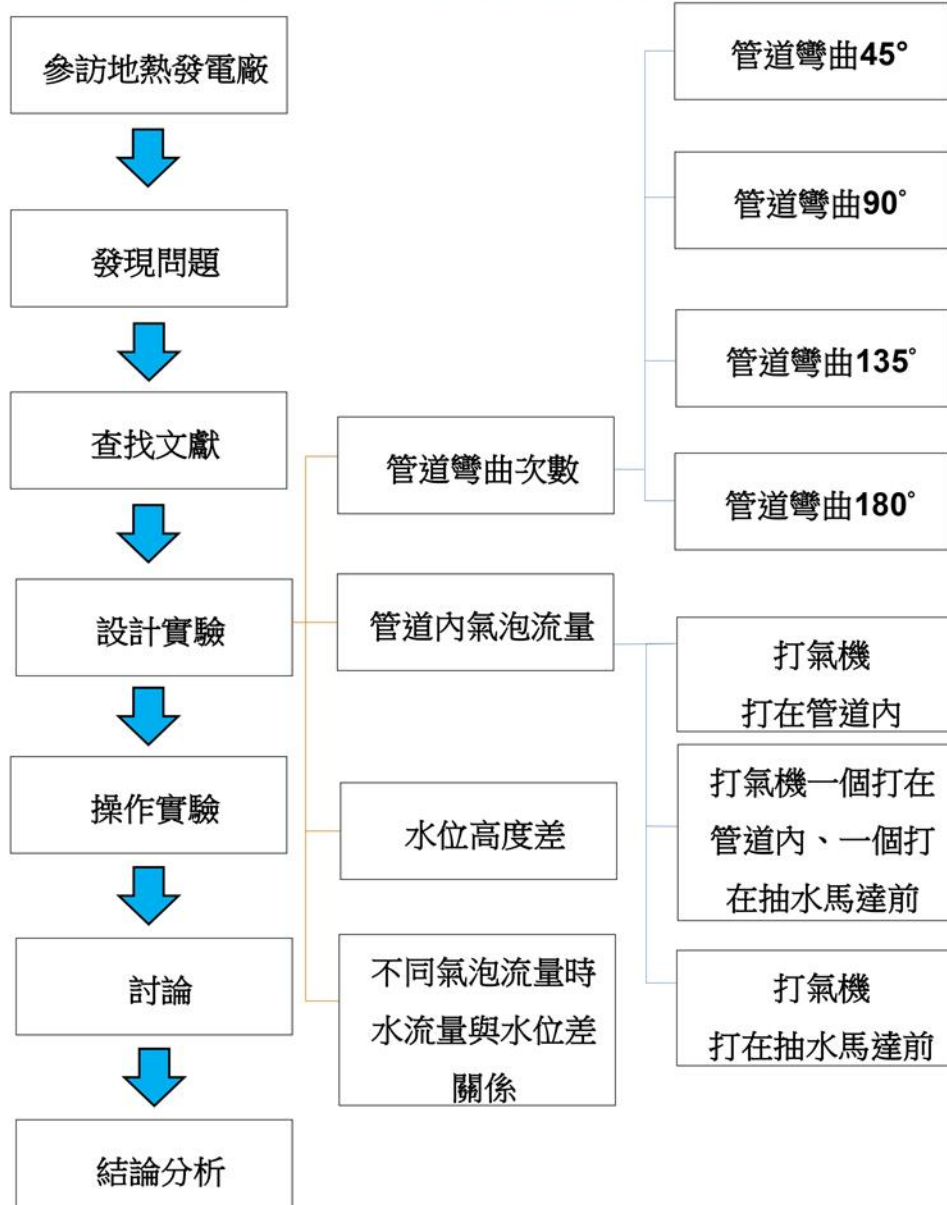


實驗設計模擬圖

實驗架設

- (一) 兩個箱子一前一後，一上一下模擬地熱水從地底抽到地表。
- (二) 將馬達裝設在下方箱子，連接透明水管，水管上加裝開關以控制流量，上方連接軟管及打氣機以操控管內氣泡量，上方出水口前裝置水錶，測量通過的水量。
- (三) 水經過出水口到上方箱子後，從另一側水管流回下方箱子，形成循環。

參、研究過程或方法



肆、實驗過程與結果

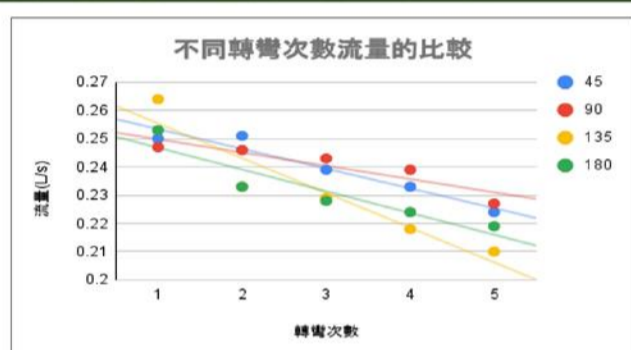
一、轉彎角度與次數對流量與總效率的影響

(一) 實驗設計

1. 製作不同轉彎次數的管道，測量各轉彎次數在30秒流出的水體積，計算水的平均流量及總效率。測量電流，計算輸入的電功率。
2. 控制變因：電壓120V、水位差48公分、水管口徑2公分(實驗二、三、四皆相同)
3. 操作變因：轉彎角度45、90、135、180；轉彎次數0、1、2、3、4、5
4. 應變變因：水流量、電流(實驗二、三、四、五、六皆相同)
5. 由30秒流出的水測量10次，取平均值計算水流量。(實驗二、三、四、五皆相同)
6. 由電流乘電壓計算電功率，由流量、水管截面積、水位差、水密度等計算水功率，再計算總效率。(實驗二、三、四、五、六皆相同)

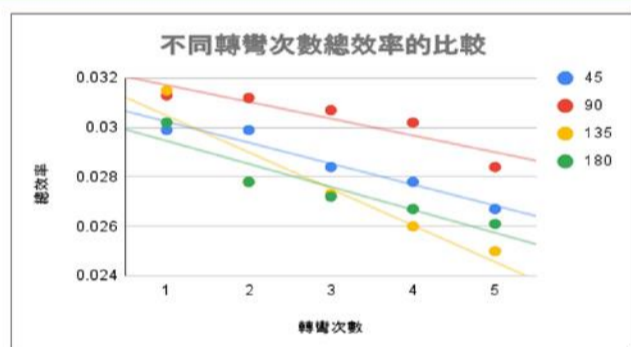
(二) 實驗結果：

1. 不同轉彎角度時轉彎次數的流量



說明：彎管次數越多流量越低，且轉彎90度的流量在轉彎5次時較大；而135度的流量變化較大，轉彎5次時流量是最少的。

2. 不同彎管角度時轉彎次數的總效率



說明：在不同轉彎次數時，90度的總效率明顯高於其他角度，135度轉彎數對總效率的影響最大，總效率改變最多。

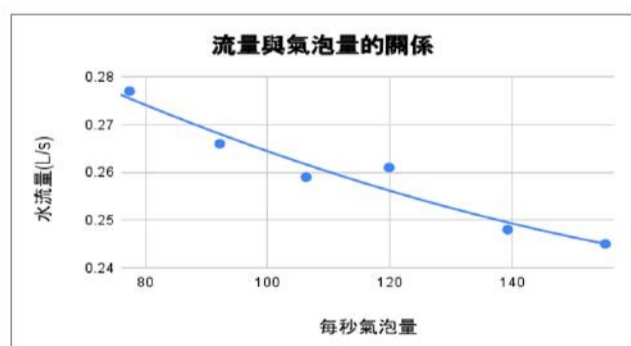
二、氣泡流量對水流量與總效率的影響

(一) 實驗設計

1. 控制不同氣泡流量通過管道，測量各氣泡流量在30秒流出的水體積，由於加入氣泡後水錶數值為水流量與氣泡流量總數值，所以用量桶接水測量水流量。計算水的平均流量及總效率。測量電流及電壓，計算電功率。(實驗四相同)
2. 操作變因：氣泡量(ml/s)：155.26、139.28、119.88、106.28、92.16、77.4

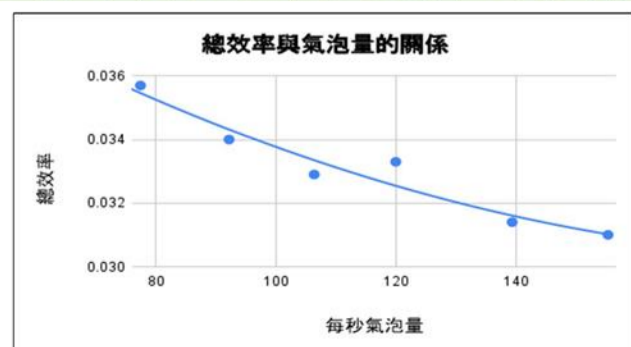
(二) 實驗結果：

1. 改變彎管內氣泡流量對流量的影響



說明：氣泡量越多，流量越低。

2. 改變彎管內氣泡量對總效率的影響



說明：氣泡流量越多，總效率越低。

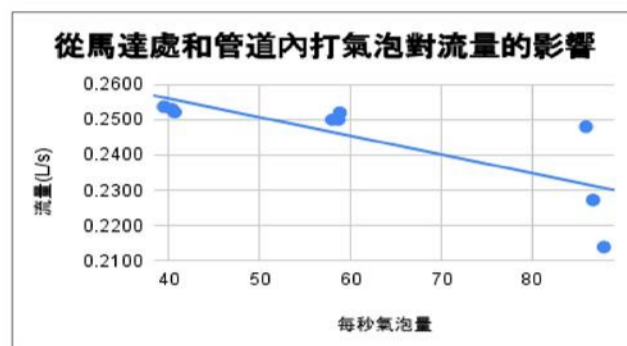
三、打氣機分別在馬達處和管內打氣對流量與總效率的影響

(一) 實驗設計

1. 操作變因：氣泡打氣位置，「上」為抽水馬達後，至出水口；「下」為抽水馬達前。打氣位置：上大下大、上大下中、上大下小、上中下大、上中下中、上中下小、上小下大、上小下中、上小下小；氣泡量(ml/s)：87.87、86.67、85.89、58.81、58.66、57.97、40.66、40.33、39.46

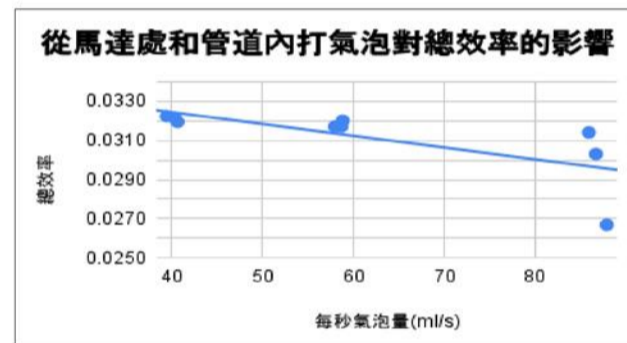
(二) 實驗結果：

1. 改變彎管內氣泡流量對流量的影響



說明：氣泡流量在大約每秒40、60毫升時對流量的影響較小，但氣泡量在85、86、87時卻明顯改變，說明下方的氣泡量對總氣泡流量影響較小，而上方的氣泡造成的影響較大。

2. 改變彎管內氣泡流量對總效率的影響



說明：氣泡流量在約每秒40、60毫升時對總效率的影響較小，但氣泡量在85、86、87時卻明顯改變，說明當上方管道處的氣泡量大時，下方馬達處的氣泡對總效率造成的影響較大。

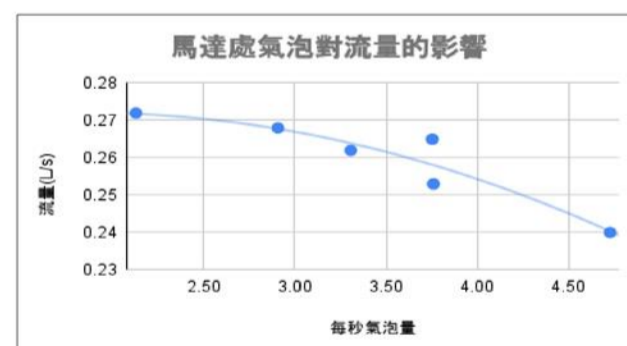
四、打氣機在馬達處打氣對流量與總效率的影響

(一) 實驗設計

1. 操作變因：氣泡流量(ml/s)：4.73、3.76、3.31、3.75、2.91、2.13

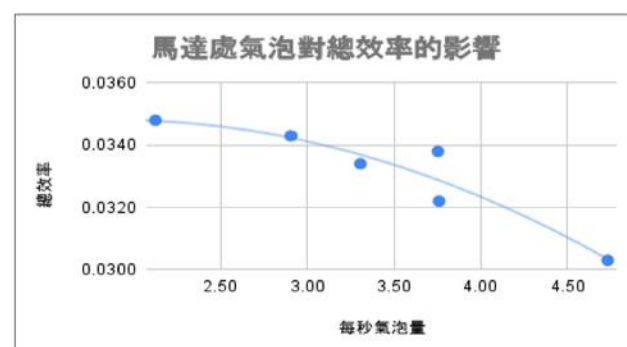
(二) 實驗結果：

1. 改變馬達處氣泡流量對流量的影響



說明：氣泡從馬達處被吸入時，氣泡流量越多，流量越低。

2. 改變馬達處氣泡流量對總效率的影響



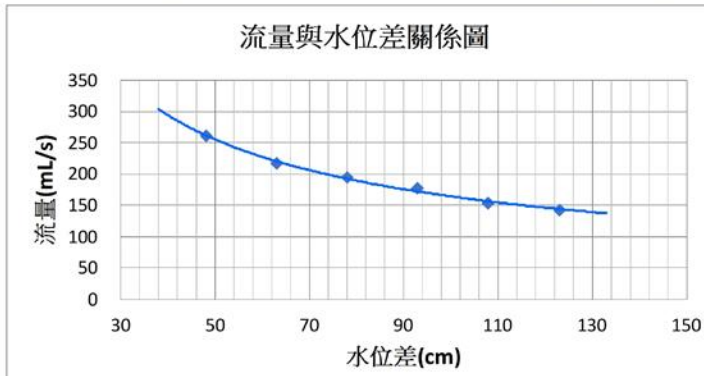
說明：氣泡從馬達處被吸入時，氣泡流量越多，總效率越低。

五、水位高度差對水流量與總效率影響

(一) 實驗設計：

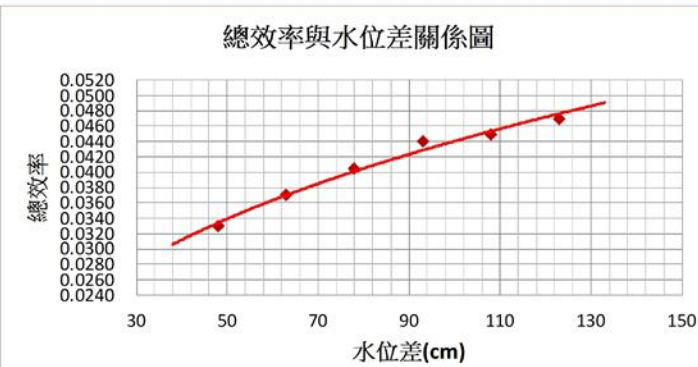
- 1.製作不同水位高度的管道，分別測量各水位高度在30秒流出的水體積，計算水的平均流量及總效率。測量電流，計算輸入的電功率。(實驗六相同)
- 2.控制變因：電壓120V、轉彎次數3次、水管口徑2公分
- 3.操作變因：水位高度差(公分)：48、63、78、93、108、123(實驗六相同)

1.改變彎管水位高度差對流量的影響



說明：水位高度差越大，流量就越低。

2.改變彎管水位高度差對總效率的影響



說明：水位高度差越多，總效率越高。

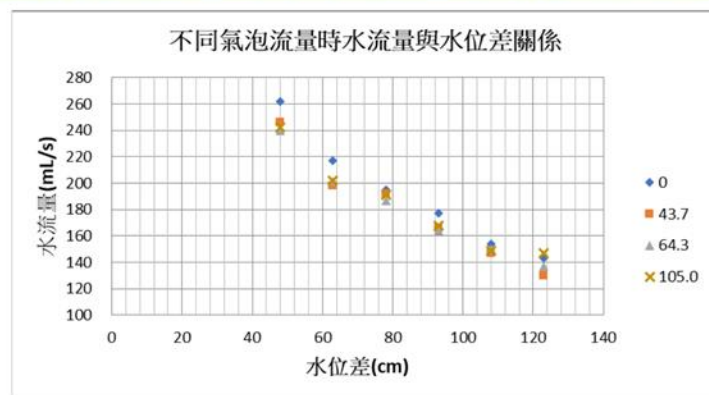
六、不同水位差時氣泡流量對水流量與總效率影響

(一) 實驗設計：

- 1.控制變因：電壓120V、水管口徑2公分

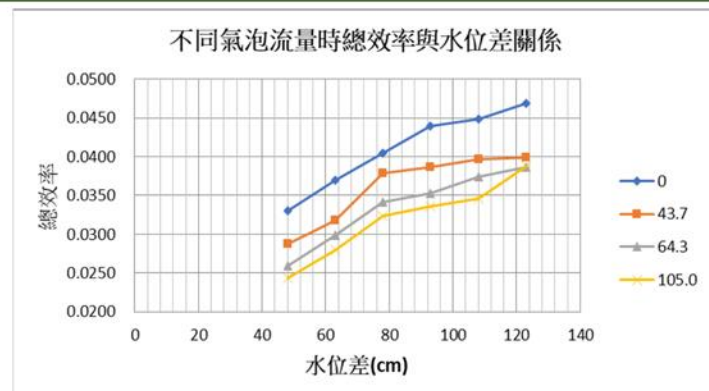
(二) 實驗結果：

1.不同氣泡流量時水流量與水位差關係



說明：水位高度差越大時，水流量就越低。但氣泡流量越大並不代表水流量越低。

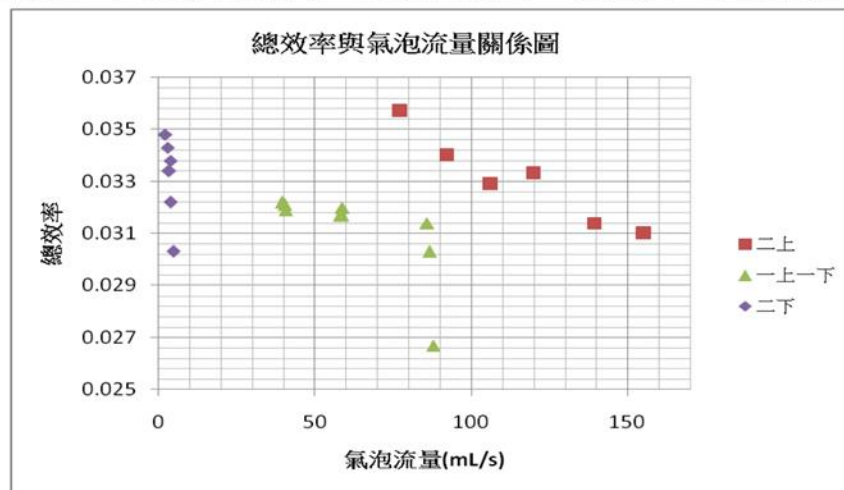
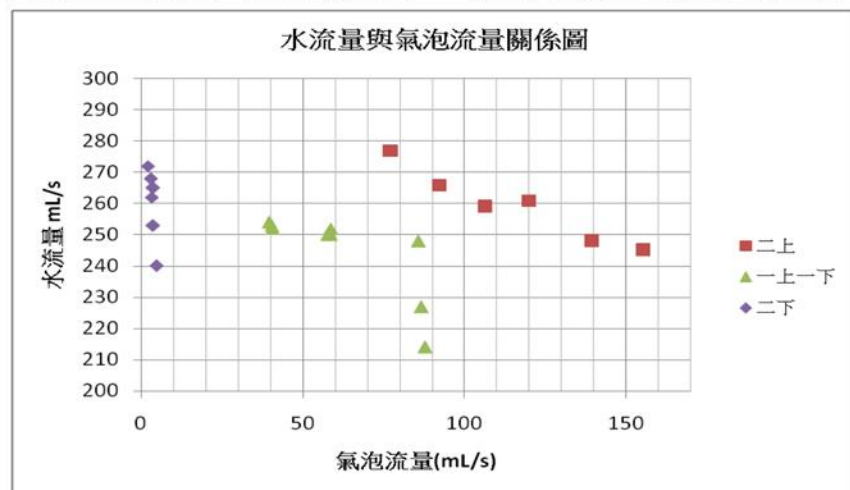
2.不同氣泡流量時總效率與水位差關係



說明：氣泡流量越多，總效率就越低。水位高度差越大，總效率越高。

五、討論

(一) 如下圖，氣泡從馬達處(兩個打氣機都在下方馬達處，簡稱二下)吸入的量少，但會對流量和總效率造成影響。氣泡直接打進管內(兩個打氣機都在上方管道內，二上)的量較多，氣泡流量越多則水流量越低，且總效率越低。我們研究的主要發現在於馬達之前注入氣泡流量雖不多，但對水流量有很大的影響，因此，我們建議若要增加地熱發電的總效率，抽水馬達可設置在抽水井較深處，因為壓力大，溶解較佳，比較不會有氣泡產生。



(二) 根據各角度彎管轉彎次數對水流量及總效率的影響，實驗的研究結果發現：轉彎次數愈多水流量及總效率愈小，可知轉彎會耗損運輸水的能量，而90度的總效率明顯高於其他角度，且轉彎90度的流量在轉彎次數多的時候大於其他角度，而135度轉彎數對總效率的耗損最大。

(三) 在水位差對水流量及總效率的影響實驗中，我們發現水位差愈高水流量愈小，但是總效率卻愈大。水位差愈大表示水獲得位能愈多，總效率就越高。因為流量跟動能差成正比，所以可以從水位差越大流量越少發現動能是造成耗損的主要原因。

(四) 我們觀察不同氣泡流量在每個水位高度的流量及總效率變化。一開始算出的數據發現總效率反而增加了。後來將打氣機的電功率和抽水馬達的電功率相加為總電功率，再將水功率除以總電功率計算總效率，得出的結果較符合預期。

(五) 實驗中我們沒有控制到管子的總長度，所以我們多設計了一個實驗，研究管子長度對水流量的影響，結果發現，管子長度在18~90公分範圍內，流量幾乎都一樣。

陸、結論

(一) 氣泡流量越多，流量越低，總效率也越低，所以氣泡會使總效率降低。尤其在馬達處的氣泡對於總效率的影響更為顯著，因此，我們建議如果要增加地熱發電的總效率，抽水馬達可以設置在抽水井較深處的地方，因為壓力大，溶解較佳，比較不會有氣泡產生。

(二) 每個轉彎角度時，轉彎次數越多，流量越低，總效率也越低，因此轉彎會耗損水的動能。

(三) 轉彎90度為流量和總效率的最佳狀態。

(四) 轉彎135度變動最大，轉彎次數最少時，總效率最高；轉彎最多時，總效率最低。

(五) 水位高度差越大，流量越低但總效率越高，動能的大小跟能量的消耗有正相關。

(六) 在每個水位高度差時，氣泡對流量的影響都不明顯。氣泡流量越多，總效率就越低。水位高度差越大，總效率越高。

柒、參考資料

一、第二期能源國家型科技計畫 計畫辦公室(2017年9月30日) · 台電綠網 · 地熱發電-介紹篇 · 取自：<https://reurl.cc/gZavDN>

二、ASSOMA協磁股份有限公司 · 相關文章-泵浦知識 · 水功&電功&軸功&總效率&泵浦效率 · 取自：<https://reurl.cc/Q4ZpXM>

三、氣鎖現象-維基百科 · 自由的百科全書 · 取自：<https://reurl.cc/V84aLy>

四、南一自然課本第四冊