

# 中華民國第 61 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

探究精神獎

032906

「冰清玉潔」 --- 「結冰法海水淡化系統」的  
設計

學校名稱：臺中市立居仁國民中學

作者：  國一 柯秉承  國一 陳宥碩	指導老師：  潘瑾卿  趙雅琳
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：彭巴效應、熱能傳播、海水淡化

## 摘要

本報告研究加速結冰的容器與分析結冰、解冰過程，盼以高效能結冰容器進行海水純化，幫助解決水資源缺乏。依實驗結果提出建議：1. 海水前處理：(1)溫度 50°C 到 60°C 時製冰效率最高。(2)海水稀釋至濃度 1%，結冰速率最快，但涉及解冰實驗後發現，濃度高低(2%-5%)對海水鹽分影響不大。2. 結冰容器設計部分：(1) 容器中段與底部是最佳溫差的接觸區。(2) 細長狀容器設計為佳-上方 80%絕熱區，下方 20%面積為吸熱區。(3)在容器中添加與開口面積比例 25%之金屬凝結棒更能幫助海水傳導與對流。(4)採用上述設計的結冰容器，其結冰效能比不設計(對照組)高出 6.72 倍。3. 解冰部分：(1)解冰範圍對水質鹽分無影響。(2)解冰時間越末段的水質鹽分越低，時間末段 80%-100%的水鹽分可作為家庭生水使用。

## 壹、研究動機

由於全球氣候變遷，台灣的缺水情況日益嚴重，2020 更是罕見的沒有颱風登陸，其他的問題如：水庫淤積嚴重、自來水漏水率偏高，以及水價過低造成用水浪費等問題，水資源在台灣應該被"鎔銖必較"。所以我想解決水資源短缺的問題，參考以色列經驗，開源"海水"作為水源。以色列位於中東，在炎熱乾旱的中東地區，淡水可以稱得上是「液態的黃金」。以色列人從建國之初就知道，他們必須努力爭水，否則全境就這麼一條河、一座湖，該怎麼餵養日益增多的國民？以色列人靠自己爭水的故事，大約六十年前開始。一名以色列科學家薩爾欽 (Alexander Zarchin) 當時喊出他的願景：「以海水造水是以色列的未來！」。這名科學家後來成立了 IDE 科技，開始研發海水淡化技術。阿什科隆是世界第一個超大產水量海水反滲透 (SWRO) 淡化廠，每日產水量 40 萬立方米。阿什科隆的淡化水生產成本僅為每立方 0.53 美元，所使用的海水淡化技術主要是 RO 反滲透技術，主要系統包括 IDE 專有的壓力中心設計、三根管路取水、能量回收系統 (ERS) 和獨特的脫硼系統。索萊克水廠每日產水量 62.4 萬立方米，於 2013 年開始運行，是當前世界上規模最大的反滲透海水淡化廠。反滲透淡化海水的優點是方便提供飲用水、保護質量和棲息地，缺點是建造和運營的成本很高、影響環境。因此，本研究利用彭巴效應與熱量傳播原理，先將海水凝固形成淡水冰再融化取出純水，設計新型海水淡化系統---用高效能結冰容器進行結冰純化，幫助解決水資源缺乏的問題。



圖 1-1、水庫乾涸停止農業灌溉 (2020，取自張家睿、陳點因)

## 貳、研究目的

### 一、不同水溫與濃度海水對結冰率的影響。

- (一) 不同水溫對結冰率的影響
- (二) 食鹽濃度對結冰率的影響

### 二、容器形狀及散熱位置對結冰率的影響。

- (一) 不同水高對結冰率的影響
- (二) 不同加熱位置對結冰率的影響
- (三) 不同散熱位置對結冰率的影響
- (四) 金屬凝結棒面積對結冰率的影響
- (五) 不同傳導面積對結冰率的影響

### 三、不同時間與解冰範圍海水對淡水鹽分的影響。

- (一) 食鹽水濃度與電阻檢量線
- (二) 實地海水在不同解冰範圍的鹽分檢測
- (二) 實地海水與模擬海水在不同濃度與不同解冰時間下的鹽分檢測

## 參、研究設備及器材

研究器材與規格	照片	研究器材與規格	照片
燒杯		電子天秤	
量筒		滴管	
鋁罐		電子溫度計	
手機螢幕錄影		WindTunnel APP	
氯化鈉		實地海水取樣 (屏東縣車城鄉、苗栗縣通霄鎮、台中市大甲區)	
安培計		三用電表	

## 肆、研究過程或方法

### 一、實驗方法

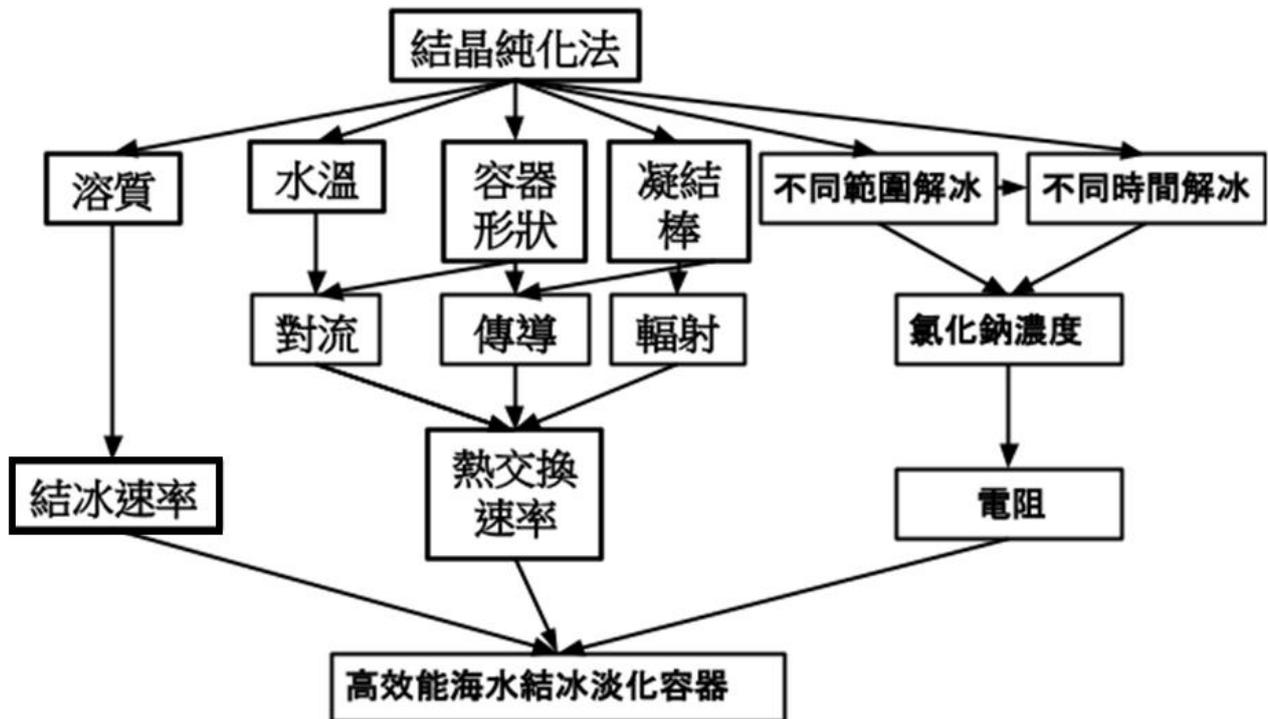


圖 4-1-1 實驗研究架構圖

### 二、研究步驟

#### 第一部分 不同水溫與濃度海水對結冰率的影響

##### (一) 不同水溫對結冰率的影響

1. 水溫(20 度 C-80 度 C，每 10 度 C 一個分點)的水等量加入量筒中。
2. 放入冰箱並於 24 小時後拿出。
3. 把試管拿出試管架中，放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。
4. 算出水重和結冰重。

##### (二) 食鹽濃度對結冰率的影響

1. 把調整食鹽水濃度(1%-6%)放入試管中。
2. 如(一)步驟操作。

#### 第二部分 容器形狀及散熱位置對結冰率的影響。

##### (一) 水體高度對結冰率的影響

1. 把保麗龍放入試管中。
2. 用燒杯裝 60 度的熱水。
3. 用滴管吸取 60 度的熱水到試管中(長 14cm)，分別裝水高為 1-7cm。
4. 試管放入試管架中，並放入冰箱裡。
5. 放 24 小時時間後。把試管拿出試管架中，放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。
6. 把試管為結冰的水倒掉，放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。
7. 算出水重和冰重及蒸發量。

## (二) 不同加熱位置對結冰率的影響

1. 準備五個鋁罐加工裁剪為加熱塔。
2. 測量鋁罐全部高度並平分成五個分點 A-E。
3. 在不同的鋁罐上開放不同的加熱位置(A-E)，其他位置用泡棉膠封閉為絕熱區。
4. 在鋁罐內加入等量(等高度)的水。
5. A、B、C、D、E 等位置利用熱風槍加熱 5 分鐘，10 分鐘，15 分鐘，20 分鐘與 25 分鐘。
6. 紀錄不同加熱位置與不同加熱時間下，各開放區的氣溫與水溫。
7. 分析與比較數據。

## (三) 不同散熱位置對結冰率的影響

1. 準備五個鋁罐加工裁剪為吸熱塔。
2. 測量鋁罐全部高度並平分成五個分點 A-E。
3. 在不同的鋁罐上開放不同的吸熱位置(A-E)，其他位置用泡棉膠封閉為絕熱區。
4. 接下來步驟如(二)。

## (四) 管體不同散熱面積對結冰率的影響

1. 六組罐子貼泡棉膠由下到上分別露出 0%、20%、40%、60%、80%、100%。
2. 將塑膠袋裝入貼好的鋁罐中。
3. 倒入 60°C 的水。

4. 把鐵鋁罐放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。
5. 放入冰箱約五小時。
6. 把鐵鋁罐取出，放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。
7. 把裡面的水倒掉，放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。

#### (五) 金屬凝結棒面積對結冰率的影響

1. 把鋁罐剪成 0、1/2、1/3、1/4、1/5 的鋁罐面積，放入另一鋁罐開口中，擔任凝結棒。
2. 用燒杯裝熱水。用溫度計量水溫，並記錄。取 60 度的熱水倒入鋁罐中。
3. 放入冰箱裡 24 小時後，放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。
4. 把試管為結冰的水倒掉，放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。
5. 算出水重和冰重及蒸發量，並寫下結論。

#### (六) 不同傳導面積對結冰率的影響

1. 塑膠片捲成不同直徑的圓錐容器，貼泡棉膠由下到上分別露出 0%-100%(共 6 個分點)。
2. 將塑膠袋裝入圓錐容器中並倒入 60°C 的水。
3. 把圓錐容器放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。
4. 放入冰箱約五小時。取出圓錐容器，放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。
5. 把裡面的水倒掉，放到秤重器上，並記錄到科學筆記上。

### 第三部分 不同時間與解冰範圍海水對淡水鹽分的影響。

#### (一) 食鹽水濃度與電阻檢量線

1. 配置 6% 的食鹽水，並稀釋為 5%、4%、3%、2%、1%、0.75%、0.5%、0.25% 等濃度備用。
2. 取不同濃度之實驗水各 20 毫升備用。
3. 依國二理化課本中電解質實驗架設電路圖，檢測等體積下不同濃度的食鹽水之電壓與電流。(將安培計與三用電表連接電路如圖 4-3-1)。
4. 放置石墨棒至不同濃度的溶液中進行測量。
5. 紀錄實驗數據於實驗記錄本中。
6. 注意更換不同濃度鹽水時應該先用蒸餾水沖洗石墨棒。

7. 將電壓(V)、電流(I)等數據紀錄於實驗筆記中，計算出電阻(R)大小 ( $R=V/I$ )。
8. 繪製濃度與電阻作圖。



圖 4-2-1 實驗裝置畫面

### (二) 實地海水在不同解冰範圍的鹽分檢測

1. 取實地海水等海水進行靜置沉澱再利用生化棉過濾海水。
2. 將步驟 1 中的水放置於不同的結冰容器中進行結冰。
3. 等待 3 小時後取出冰磚用水清洗一次。
4. 用鉅子切割冰體為五等分。
5. 取樣不同地點與不同範圍之解冰水體進行電阻測量，如圖 4-3-1。
6. 紀錄數據於實驗記錄本中。



圖 4-2-2 生化棉過濾海水(殘留物)



圖 4-2-3 鉅子切割冰體

### (三) 實地海水與模擬海水在不同濃度與不同解冰時間的鹽分檢測

1. 取實地海水(表 4-3-1)各 600ml 備用。
2. 配置模擬海水 2%、3%與 5%。
2. 將步驟 1 中的實地海水進行過濾去除懸浮物與生物性雜質。

3. 接下來步驟如(二)進行。

4. 解冰 600ml 水體解冰約需 2 小時

表 4-2-1 實地海水列表

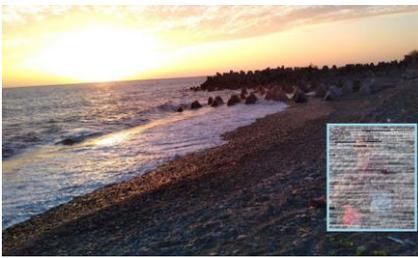
屏東縣車城鄉-無名海灣	通宵漁港	台中火力發電廠海岸
		



圖 4-2-4 火力發電廠海岸的海水



圖 4-2-5 解冰過程

## 伍、研究結果與討論

### 一、不同水溫對結冰率的影響

(一). 假設：水溫越低含熱量低，越容易散熱而結冰。

### (二). 實驗結果

表 5-1-1 不同水溫結冰率的影響

水溫(度 C)	冰重	冰重	冰重	平均冰重(gw)
80	2.47	1.54	1.45	1.82
70	3.00	2.04	1.27	2.10
60	3.07	0.79	1.19	1.68
50	2.38	1.34	1.58	1.77
40	2.68	0.90	1.49	1.69
30	0.94	0.86	0.75	0.85
20	0.64	0.70	0.64	0.66

圖5-1-1不同水溫對製作透明冰體並純化水的影響

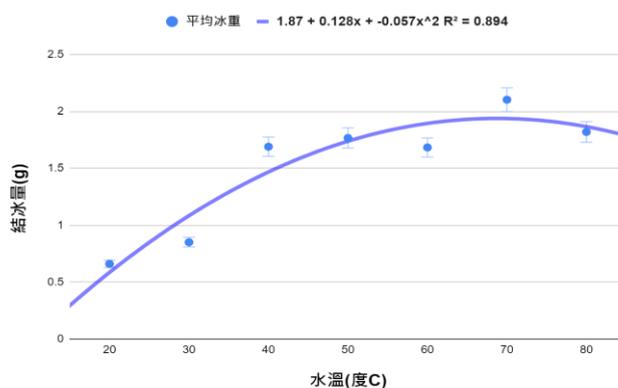


圖 5-1-1 不同水溫對製作冰體結冰率的影響

### (三) 實驗結果與討論

1. 水溫越高結冰重量越重，但是 50°C 以上的結冰量差異不大。
2. 試管的結冰量低於玻璃杯。且有部分水分蒸發。
3. 彭巴效應發生推測是熱水對流速率大於室溫水流，所以散熱快，結冰速率較快。
4. 試管的玻璃導熱速率低，所以結冰過程主要是水面與空氣接觸的散熱作用為主要結冰位置。
5. 新發現與新應用：

建議要加快結冰速率可以提高起始溫度高於 50°C 以上，例如利用太陽能加熱後再進入製冰機製冰，速率可提高接近 2 倍製冰效率(30°C 與 60°C 的差異)。

## 二、食鹽濃度對水結冰的影響

(一)、假設：食鹽是電解質，濃度越高帶電離子越多會阻礙水分子之間形成氫鍵而凝結成固體冰，結冰率越低。

(二)實驗結果：

表 5-2-1 不同食鹽濃度對結冰量的影響

鹽水濃度	冰重	冰重	冰重	平均結冰率
0%	5.38	9.08	4.64	63.67
1%	4.60	6.82	6.48	59.67
2%	5.00	2.54	4.56	40.33
3%	3.38	5.28	3.70	41.20
4%	1.44	0.38	1.84	12.20
5%	0.20	0.26	3.26	12.40
6%	0.24	0.02	2.40	8.87
7%	0.40	0.02	1.90	7.73
8%	0.18	0.96	0.20	4.47
9%	0.48	0.02	0.86	4.53

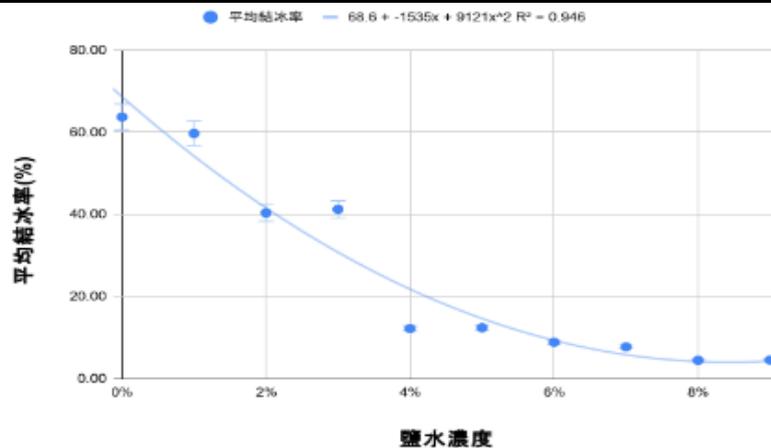


圖 5-2-1 食鹽水濃度對結冰率的影響

(三) 實驗結果與討論

1. 本實驗結果發現，食鹽水濃度越高，結冰越不易( $R^2=0.946$ )，純水結冰率為63%/小時，一般海水濃度3.5%左右之結冰量為22%/小時，建議海水要進行結冰淡化時，應該要先行稀釋使濃度不超過1%，對結冰量的影響最小，且可得節省能源的最大值。

2. 食鹽是電解質溶於水易解離帶電，所以濃度高電極越多，越會使冰晶的氫鍵鍵結不易，結冰率低，在當溫度持續降低時，冰晶形成時會放熱，電解質溶質溶於水時，由依數性質會使得水溶液的凝固點下降， $\Delta T = -1.86 \cdot C_m \cdot i$ ，冰點更低，所以鹽濃度越高應更不利於冰晶生成。

### 三、不同水體高度對結冰率的影響

(一). 假設：水體越高，溫差越大，對流越快，結冰速率快。

(二). 實驗結果：

表 5-3-1 不同水體高度對結冰率的影響

容量(ml)	冰重	冰重	冰重	冰重	冰重	冰重(gw)平均	結冰比率(%)
1	0.58	0.18	0.12	0.74	0.62	0.45	44.8
2	1.14	0.76	0.38	1.12	1.64	1.01	50.4
3	2.14	1.1	0.58	1.06	0.78	1.13	37.7
4	3.35	1.63	1.68	0.9	0.56	1.62	40.6
5	4.39	1.04	3.4	1.86	0.74	2.29	45.7
6	0.08	4.3	4.38	4.04	1.12	2.78	46.4
7	2.72	3.7	5.01	6.5	2.38	4.06	58.0
8	2.8	4.36	2.24	1.14	0.62	2.23	27.9
9	6.58	5.54	3.76	3.52	0.7	4.02	44.7
10	2.88	6.92	1.94	0.62	3.74	3.22	32.2
11	9	0.76	10.06	1.34	0.54	4.34	39.5
12	9	6.56	1.6	0.7	1.22	3.82	31.8
13	8.22	1.26	1.12	0.76	1	2.47	19.0
14	8.62	1.44	8.76	3.94	0.92	4.74	33.8

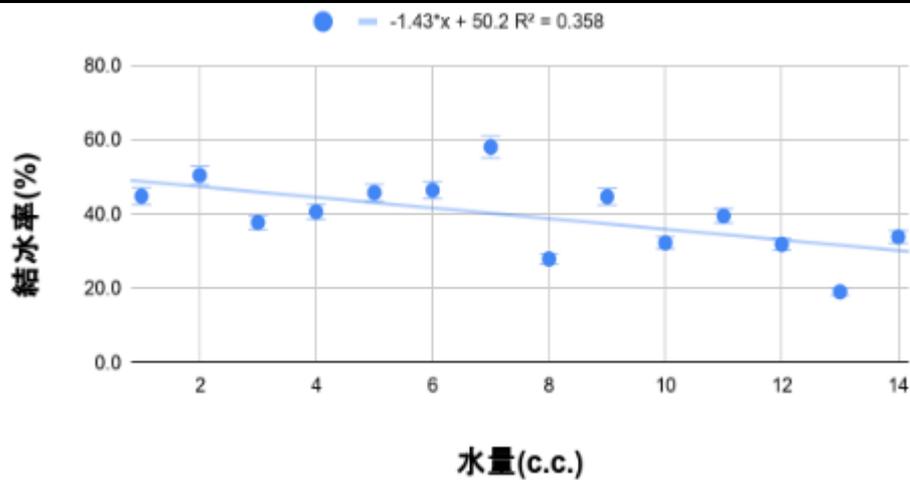


圖 5-3-1 水體高度對結冰率的影響



圖 5-3-2 不同水體高度對結冰率的實驗裝置

### (三) 實驗結果與討論

1. 將實驗結果做線性相關分析( $R^2=0.355$ )，顯示水高度對結冰率無顯著的影響，但比例 0.5 處(容量/管長)與 0.1 處(容量/管長)有最高的結冰率(58.0%與 50.4%)。
2. 可能熱水與固體管壁的接觸點位置不同，使得熱交換效率發生變化，以下進行不同熱交換區的實驗。
3. 新發現與新應用：
  - (1) 假設是在某些水量高度所在處能使水對流效能高，所以接下來將測試熱源在不同位置的加熱下，各個高度與水溫變化是否具有對應關係。

#### 四、不同加熱位置對水體溫度變化的影響

(一) 假設：越底端加熱，底部溫度變化最少，頂部溫度變化越大。

實驗表格							實驗作圖																																											
表 5-4-1 位置 A 對水體溫度變化的影響 <table border="1"> <thead> <tr> <th>加熱位置</th> <th>測量時間</th> <th>0</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13.5</td> <td>A(13.5)</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>B(10.5)</td> <td>0</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>C(7.5)</td> <td>0</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>D(4.5)</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>13.5</td> <td>E(1.5)</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>							加熱位置	測量時間	0	5	10	15	20	13.5	A(13.5)	0	8	15	16	15	13.5	B(10.5)	0	7	8	10	8	13.5	C(7.5)	0	6	7	6	5	13.5	D(4.5)	0	3	5	4	3	13.5	E(1.5)	0	3	5	2	1	圖 5-2-3-1 最高加熱位置 對不同位置溫度變化的影 <p>圖 5-4-1 加熱位置 A</p>	
加熱位置	測量時間	0	5	10	15	20																																												
13.5	A(13.5)	0	8	15	16	15																																												
13.5	B(10.5)	0	7	8	10	8																																												
13.5	C(7.5)	0	6	7	6	5																																												
13.5	D(4.5)	0	3	5	4	3																																												
13.5	E(1.5)	0	3	5	2	1																																												
表 5-4-2 位置 B 對水體溫度變化的影響 <table border="1"> <thead> <tr> <th>加熱位置</th> <th>測量時間</th> <th>0</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.5</td> <td>A(13.5)</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>13</td> <td>16</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>10.5</td> <td>B(10.5)</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>11</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>10.5</td> <td>C(7.5)</td> <td>0</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>12</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>10.5</td> <td>D(4.5)</td> <td>0</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>10.5</td> <td>E(1.5)</td> <td>0</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>							加熱位置	測量時間	0	5	10	15	20	10.5	A(13.5)	0	10	13	16	19	10.5	B(10.5)	0	10	12	11	13	10.5	C(7.5)	0	7	8	12	9	10.5	D(4.5)	0	6	7	7	7	10.5	E(1.5)	0	6	4	8	7	圖 5-2-3-2 次高加熱位置 對不同位置溫度變化的影 <p>圖 5-4-2 加熱位置 B</p>	
加熱位置	測量時間	0	5	10	15	20																																												
10.5	A(13.5)	0	10	13	16	19																																												
10.5	B(10.5)	0	10	12	11	13																																												
10.5	C(7.5)	0	7	8	12	9																																												
10.5	D(4.5)	0	6	7	7	7																																												
10.5	E(1.5)	0	6	4	8	7																																												
表 5-4-3 位置 C 對水體溫度變化的影響 <table border="1"> <thead> <tr> <th>加熱位置</th> <th>測量時間</th> <th>0</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7.5</td> <td>A(13.5)</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>15</td> <td>17</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>7.5</td> <td>B(10.5)</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>7.5</td> <td>C(7.5)</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>7.5</td> <td>D(4.5)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>9</td> <td>5</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7.5</td> <td>E(1.5)</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>							加熱位置	測量時間	0	5	10	15	20	7.5	A(13.5)	0	3	15	17	16	7.5	B(10.5)	0	2	10	12	14	7.5	C(7.5)	0	2	7	9	9	7.5	D(4.5)	0	0	9	5	4	7.5	E(1.5)	0	1	4	3	2	圖 5-2-3-3 中央加熱位置 對不同位置溫度變化的影 <p>圖 5-4-3 加熱位置 C</p>	
加熱位置	測量時間	0	5	10	15	20																																												
7.5	A(13.5)	0	3	15	17	16																																												
7.5	B(10.5)	0	2	10	12	14																																												
7.5	C(7.5)	0	2	7	9	9																																												
7.5	D(4.5)	0	0	9	5	4																																												
7.5	E(1.5)	0	1	4	3	2																																												
表 5-4-4 位置 D 對水體溫度變化的影響 <table border="1"> <thead> <tr> <th>加熱位置</th> <th>測量時間</th> <th>0</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.5</td> <td>A(13.5)</td> <td>0</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>4.5</td> <td>B(10.5)</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>4.5</td> <td>C(7.5)</td> <td>0</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>9</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>4.5</td> <td>D(4.5)</td> <td>0</td> <td>14</td> <td>13</td> <td>16</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>4.5</td> <td>E(1.5)</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>14</td> </tr> </tbody> </table>							加熱位置	測量時間	0	5	10	15	20	4.5	A(13.5)	0	7	7	6	4	4.5	B(10.5)	0	8	7	8	7	4.5	C(7.5)	0	6	6	9	11	4.5	D(4.5)	0	14	13	16	17	4.5	E(1.5)	0	10	10	11	14	圖 5-2-3-4 次低加熱位置 對不同位置溫度變化的影 <p>圖 5-4-4 加熱位置 D</p>	
加熱位置	測量時間	0	5	10	15	20																																												
4.5	A(13.5)	0	7	7	6	4																																												
4.5	B(10.5)	0	8	7	8	7																																												
4.5	C(7.5)	0	6	6	9	11																																												
4.5	D(4.5)	0	14	13	16	17																																												
4.5	E(1.5)	0	10	10	11	14																																												
表 5-4-5 位置 E 對水體溫度變化的影響 <table border="1"> <thead> <tr> <th>加熱位置</th> <th>測量時間</th> <th>0</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5</td> <td>A(13.5)</td> <td>0</td> <td>17</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>B(10.5)</td> <td>0</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>C(7.5)</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>6</td> <td>10</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>D(4.5)</td> <td>0</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>13</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>E(1.5)</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>14</td> <td>13</td> </tr> </tbody> </table>							加熱位置	測量時間	0	5	10	15	20	1.5	A(13.5)	0	17	9	10	11	1.5	B(10.5)	0	9	8	10	11	1.5	C(7.5)	0	8	6	10	9	1.5	D(4.5)	0	9	8	13	11	1.5	E(1.5)	0	13	14	14	13	圖 5-2-3-5 最低加熱位置 對不同位置溫度變化的影 <p>圖 5-4-5 加熱位置 E</p>	
加熱位置	測量時間	0	5	10	15	20																																												
1.5	A(13.5)	0	17	9	10	11																																												
1.5	B(10.5)	0	9	8	10	11																																												
1.5	C(7.5)	0	8	6	10	9																																												
1.5	D(4.5)	0	9	8	13	11																																												
1.5	E(1.5)	0	13	14	14	13																																												



圖 5-4-6 吸熱位置對結冰率實驗裝置

## (二) 實驗結果與討論

1. 當在最高處 A 加熱時，越靠近高處溫度越高 ( $A > B > C > D > E$ )，推測可能是上層的水受熱後不容易發生對流。
2. 當在次高位置 B 加熱時，大致上仍有越高處越高溫的現象 ( $A > B > C > D > E$ )，但在加熱 15 分鐘時，各點的溫度比較為  $A > C > B > D > E$ ，可能是在 B 點加熱時，B 點的熱區範圍擴大產生有效對流。
3. 由數據分析發現，熱源供熱在 15 分鐘後才達到穩定，於 15 分鐘後的溫度分析可知，最高點非好的熱交換區，加熱時此點溫度飆升但不使整個水體均勻升溫
4. 在中間位置 C 加熱時，大致上高度越大溫度越高 ( $A > B > C > D > E$ )，最大溫差發生在此處被加熱 15-20 分鐘後，均為  $14^{\circ}\text{C}$  (A 處-E 處)。
5. 在次低位置 D 加熱時，20 分鐘後溫度由高到低排序為  $D > E > C > B > A$ ，直接加熱處溫度越高，可能是在熱流上升的過程，因為 (A+B+C) 區的水體總質量太大，使得熱流分散後溫度升高不多，而 E 區溫度只比 D 區低，都比其他區域高，可能是 (加) 熱區擴大的緣故。

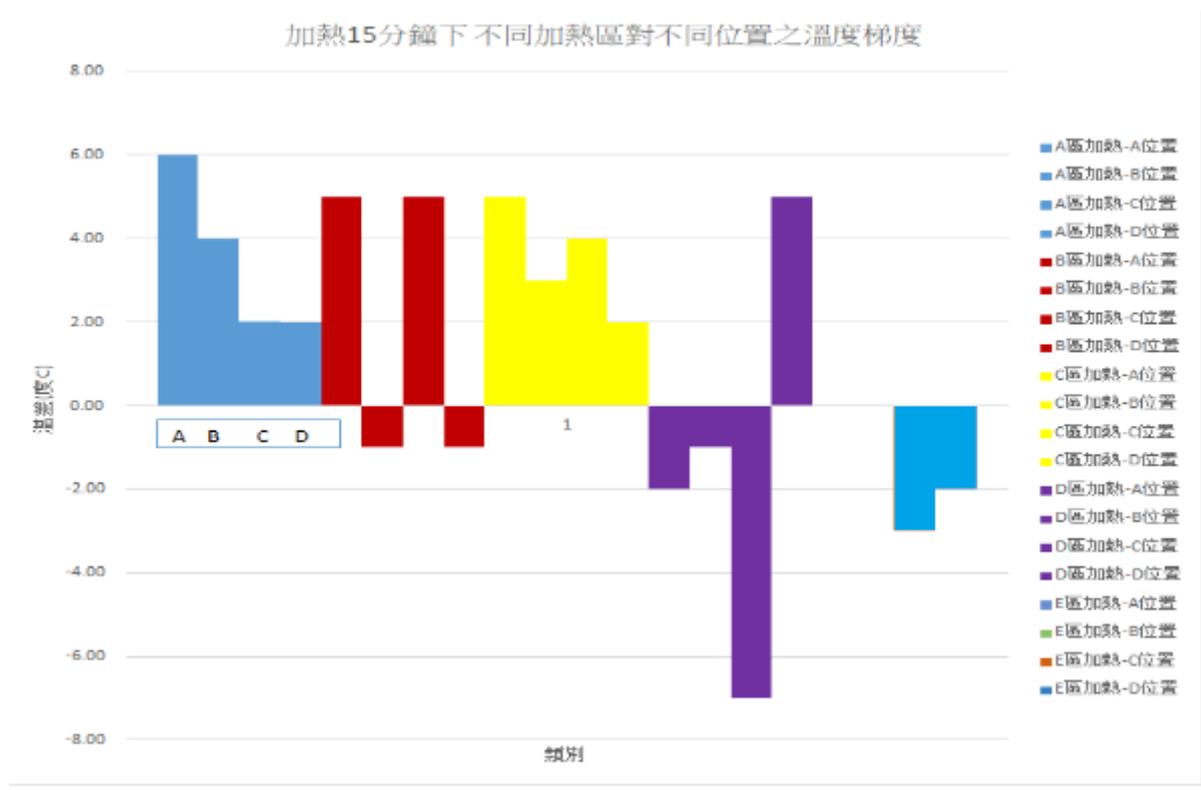


圖 5-4-7 加熱 15 分鐘下，不同加熱區的溫度梯度分析

7. 將實驗數據進行溫差分析，發現 A、C、E 三區的溫度梯度趨勢明顯，A 與 C 為越高處溫度 越高，E 為越高溫度越低，反觀 B、D 二處溫度梯度忽正忽負，推測容器內熱對流系統有多處，使得溫度系統混亂，以下將以 wind tunnel free type app 程式模擬流體系統說明。

8. 參考本實驗結果，補充牛頓冷卻定律(Newton's law of cooling)為 一冷卻體之冷卻速率與『該物溫度及室溫之溫差』成正比外，尚須考慮容器的散熱系統與容器內液體的熱對流系統會相互干擾，當熱對流單一化時應具有較佳的結冰效率。所以增加散熱面積及減少水體高度可提高結冰率。當熱對流單一化時應具有較佳的結冰效率。

9. 本就對流系統單一化的假設，接下來設計低高度的容器狀況下，不同的吸熱面積對結冰率的影響。

### 五、不同散熱位置對結冰率的影響

(一)、假設：散熱會使液體密度增大而下沉造成熱對流，所以散熱位置越高，熱對流越強，結冰率越高。

(二)、實驗結果：

表 5-5-1 不同散熱位置對結冰率的影響

散熱位置 (cm)	結冰率	結冰率	結冰率	結冰率	結冰率	平均結冰率	蒸發率
A(13.5)	0.04	0.10	0.16	0.00	0.22	0.10	-0.01
B(10.5)	0.13	0.02	0.01	0.04	0.13	0.07	-0.01
C(7.5)	0.47	0.26	0.00	0.14	0.09	0.19	-0.01
D(4.5)	0.01	0.04	0.02	0.09	0.12	0.06	-0.01
E(0)	0.72	0.02	0.01	0.17	0.25	0.23	-0.01
對照:包底	0.20	0.20	0.01	0.06	0.16	0.13	-0.01
對照:全包	0.04	0.04	0.07	0.05	0.12	0.06	-0.01

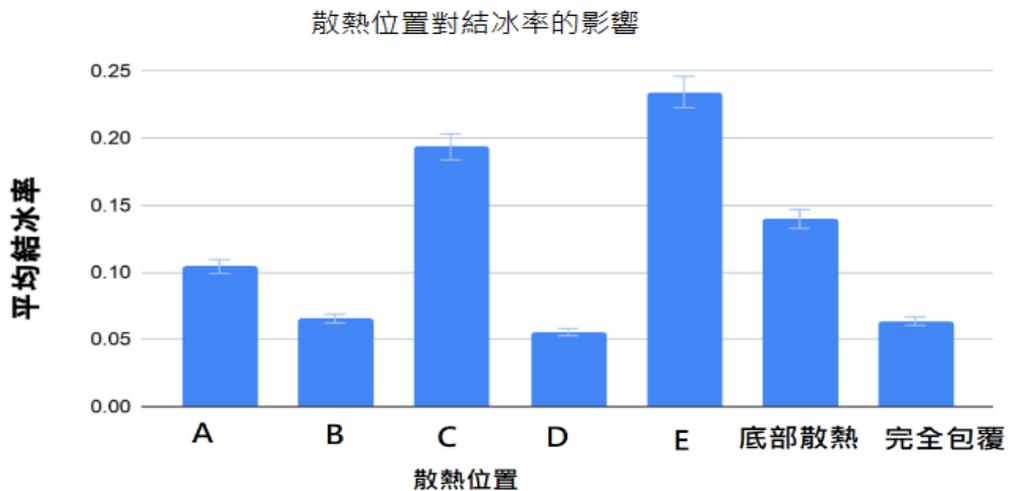
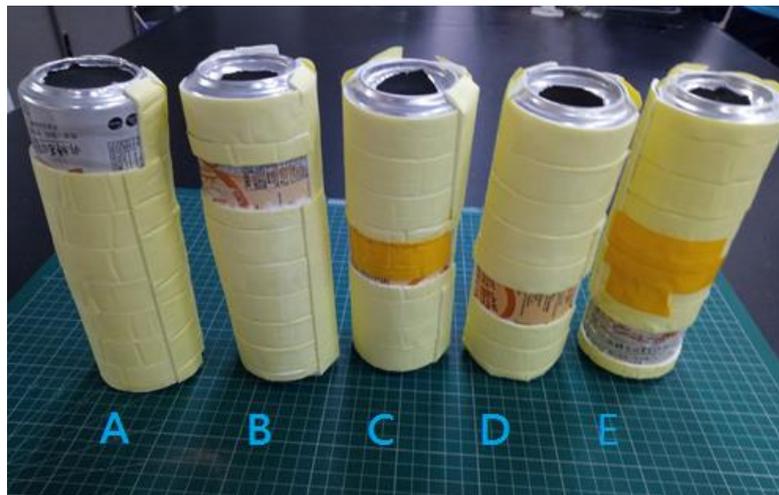


圖 5-5-1 不同散熱位置對結冰率的影響



照片 5-5-2 不同散熱位置的結冰率實驗裝置

(三) 實驗結果與討論

1. 結冰率由高到低分別為 E>C>底部散熱>A>B=無散熱位置

>=D(23%>19%>13%>10%>7%=6%=6%)，參考實驗三分析發現，在能夠推動流體運動的前提下，對流系統單一化，有利於結冰。

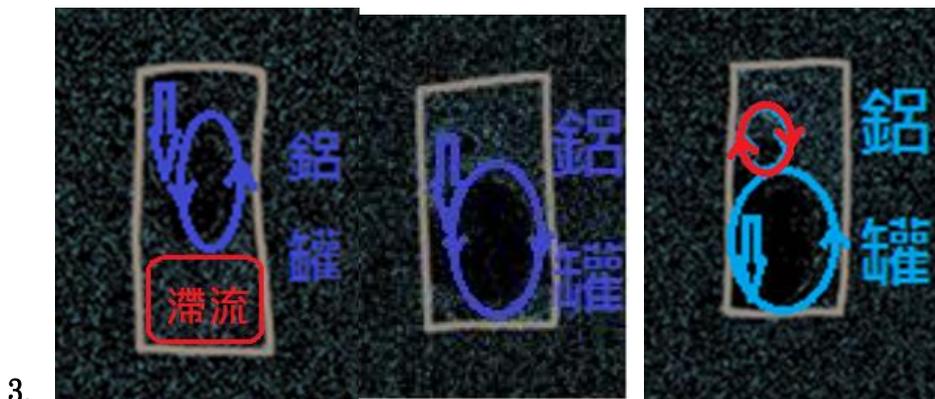
2. 以流體模擬程式測試散熱位置之液體流動模式發現：

A. 在容器上方(A 點，如下圖左)散熱會形成上方流動循環區與下方密度大的液體滯留區塊，而降低熱對流，所以會降低結冰速率。

B. 在容器中間(C 點，如下圖中)散熱會形成比較大的流動循環區促進瓶內的熱對流所以結冰率最高。

C. 在容器中間偏下方(D 點，如下圖右)散熱會形成上方熱流流動循環區與下方密度大的熱流流動循環區塊，而降低熱對流所以不易結冰。

D. 綜合以上發現：設定在容器中段進行交換熱量可以造成最大的對流範圍，容器上半段會使流動區太小，容器中偏下可能機率較高造成細小渦流多，結晶核不易生成。



照片 5-5-3 不同吸熱位置對流體運動區塊模擬

(圖左 A 點吸熱，圖中 C 點吸熱，圖右 D 點吸熱)

4. 新發現與新應用：本實驗一到四分別進行水溫、水體高比例、加熱位置與散熱位置對結冰率的影響，整理實驗結果於表 5-4-2 中，輔以流體模擬程式均證明水柱體的中段與底部應該是最佳溫差的接觸區。所以，製冰容器應在容器上方絕熱，容器下方為吸熱區。並考量流體密度大小分層來規劃，避開熱對流造成分區的阻隔狀況出現。

## 六、管體不同散熱面積對結冰率的影響

(一)、假設：散熱會使液體密度增大而下沉造成熱對流，所以散熱面積(熱交換區)越大，熱對流越強，結冰率越高。

(二)、實驗結果：表 5-6-1 不同吸熱面積對結冰率的影響

傳導面積%	結冰率	結冰率	結冰率	結冰率	結冰率	平均結冰率
0	0.03	0.04	0.13	0.02	0.08	0.06
20	0.11	0.07	0.22	0.09	0.09	0.12
40	0.14	0.06	0.11	0.02	0.28	0.12
60	0.15	0.21	0.12	0.07	0.23	0.16
80	0.17	0.25	0.31	0.03	0.18	0.19
100	0.19	0.38	0.17	0.02	0.22	0.20

圖5-5-1 不同散熱面積對結冰率的影響

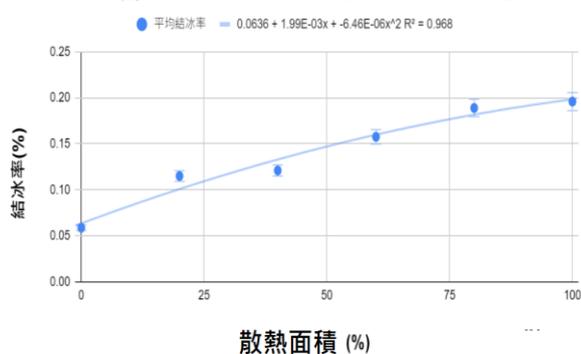


圖 5-6-1 管體散熱面積對結冰率的影響



照片 5-6-1 不同散熱面積的結冰鋁罐

## (三)、實驗結果與討論

1. 在鋁罐下方 20%散熱面積結冰率 11%，100%散熱面積的結冰率只提高至 20%。
2. 散熱及導熱區在容器下方可使水溶液體產生足夠的對流使水溶液循環達均勻散熱的作用，結冰率會比上方先結冰產生隔熱冰層來得快速。
3. 新發現與新應用：建議急速冷凍器的設計，只要在容器下方表面裝置 20%面積的散熱片即可節省能源，且達快速結冰的效果。

## 七、凝結棒寬度對結冰率的影響

(一)、假設：凝結棒吸熱寬度會影響熱對流效率對結冰率的影響

(二)、實驗結果：表 5-7-1 凝結棒寬度對結冰率的影響

金屬片面寬(cm <sup>2</sup> )	結冰量(g)	結冰量(g)	結冰量(g)	平均結冰率(%)
0.00	0.11	0.28	0.15	18.03
0.25	0.15	0.96	0.18	43.38
0.33	0.12	0.28	0.11	17.09
0.50	0.29	0.24	0.20	24.42
0.67	0.16	0.27	0.28	23.65

圖5-6-1 金屬凝結棒面寬對結冰率的影響

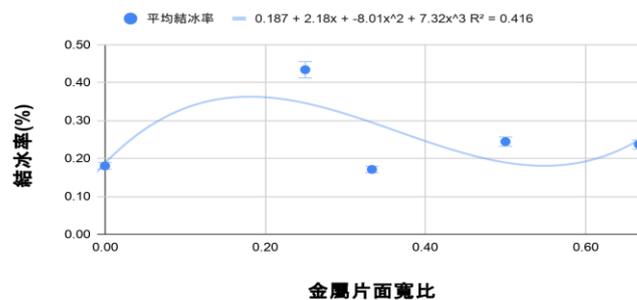


圖 5-7-1 凝結棒寬度對結冰率的影響

(三)、實驗結果與討論

1. 因果關係：金屬吸熱面寬約為總面積的 1/4，結冰率最高。
2. 原理解釋：金屬吸熱面寬約為總面積的 1/4 時會產生足夠下降的水量，推動下方一半的容積進行熱對流。吸熱面積太大反而冷水的容積小，無法產生足夠水量的冷水流，推動凝結棒下方的熱水流，不易進行熱交換。(如以下動畫模擬圖 5-6-2)

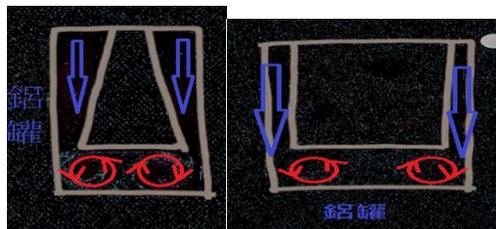


圖 5-7-2 冷水流與熱水流的熱交換動畫模擬圖

3. 新發現與新應用：凝結棒可在容器上方產生足夠的冷水流，可以加速熱交換，增加結冰速率，故在容器中添加 1/4 容器面積的金屬凝結棒可增加熱傳導，為必須作法。綜合以上實驗結果，結冰容器的設計應該將熱交換區設計於容器中段，容器開口與外界的接觸面積越大越好，裝水 20% 的容量，並在容器內部添加面積比例 25% 之金屬凝結棒，應有最佳的結冰效率。

## 八、不同傳導面積對結冰率的影響

(一)、假設：吸熱表面積越大可在水體表面產生更大的冷水流，可加速熱對流提高結冰率。

(二)、實驗結果：

表 5-8-1 不同傳導面積對結冰率的影響

面積(cm <sup>2</sup> )	冰重(gw)	冰重(gw)	冰重(gw)	冰重(gw)	結冰率(%)
2.5	23.7	24.0	24.5	19.7	23.0
7.5	24.2	24.0	22.5	20.1	22.7
18.1	24.2	22.9	18.9	10.9	19.2
24.0	22.6	24.5	24.7	8.4	20.1
31.2	21.7	22.1	23.8	6.7	18.6
45.3	23.9	22.0	28.5	11.1	21.4

圖5-7-1不同傳導面積對結冰率的影響

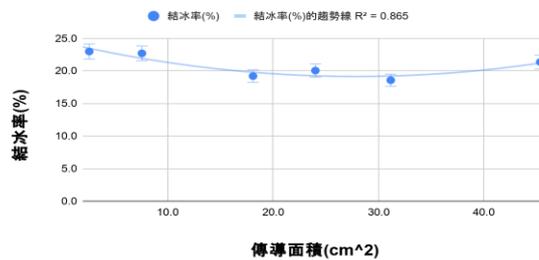


圖 5-8-1 不同開口傳熱面積大小對結冰率的影響

(三)、實驗結果與討論

(1). 因果關係：容器開口面積與結冰量無關。



照片 5-8-1 不同傳導表面積對結冰率的影響

(2). 原理解釋：傳導表面積越大雖可在水體表面產生更多的冷水，但水體的高度低水溫差距變小，會降低熱對流因此降低結冰率。

(3). 新發現與新應用：水體的高度比表面積更容易造成熱對流，建議結冰裝置要以細長型比較快結冰。

### 九、實驗水濃度對電流與電阻的影響

(一) 實驗假設: 電解質濃度越高，電流越高，電阻越低。

(二) 實驗結果:

表 5-9-1 電解質濃度與電阻的關係

濃度 (%)	濃度根號	電流 1(KA)	電流 2(KA)	電流 3(KA)	電流平均(KA)	電壓 1	電壓 2	電壓 3	電壓平均	電阻(m 歐姆)平均
6.00	2.45	15.70	9.90	1.10	8.90	2.97	2.93	3.09	3.00	0.34
5.00	2.24	9.90	9.10	8.70	9.23	3.07	3.08	3.09	3.08	0.33
4.00	2.00	7.90	8.10	6.90	7.63	3.11	3.10	3.12	3.11	0.41
3.00	1.73	6.80	6.60	5.90	6.43	3.10	3.13	3.16	3.13	0.49
2.00	1.41	5.30	5.10	5.60	5.33	3.10	3.11	3.17	3.13	0.59
1.00	1.00	4.10	4.30	3.90	4.10	3.10	3.10	3.07	3.09	0.75
0.75	0.87	3.80	3.90	3.50	3.73	3.11	2.98	3.03	3.04	0.81
0.50	0.71	3.10	3.20	3.40	3.23	3.03	3.02	3.02	3.02	0.94

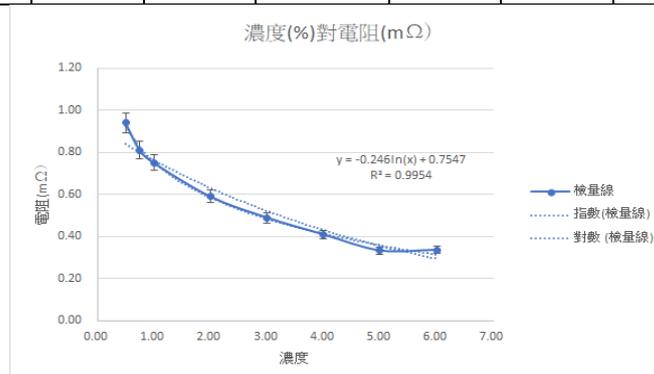


圖 5-9-1 電解質濃度與電阻關係

(三) 實驗結果與討論

1. 因果關係: 濃度與電阻對數作圖得方程式  $y = 0.246 \ln(x) + 0.7547$ ,  $R^2 = 0.9954$ 。

2. 原理解釋: 鹽水濃度越高，導電性越強，其關係是可以用德拜-休克爾經驗式  $\Lambda_m = \Lambda_m^0 - (A + B\Lambda_m^0)\sqrt{c}$  解釋，濃度與電阻呈現指對數關係。

3. 應用發現: 本方程式可用於海水結冰淡化後之水溶液含鹽濃度檢測，且本實驗測量之電阻值可以對應海水濃度變化。

十、實地海水在不同解冰範圍下的鹽分變化

(一)、 假設:結冰較靠近瓶口處(0-0.02)的水質，依密度原理其鹽分應小於容器底部(0.08-1)之鹽分。

(二)、 實驗結果

表 5-10-1 解冰範圍對鹽分的影響

	解冰範圍(區段)	電流 1(KA)	電流 2(KA)	電流 3(KA)	平均電流	電壓 1(V)	電壓 2(V)	電壓 3(V)	電壓平均	電阻(mΩ)
火力發電海邊	0-0.2	4.00	4.00	3.10	3.70	2.99	2.98	3.01	2.99	0.81
	0.2-0.4	4.20	4.40	4.80	4.47	2.98	2.98	2.98	2.98	0.67
	0.4-0.6	3.10	3.90	3.10	3.37	3.00	2.99	3.00	3.00	0.89
	0.6-0.8	4.00	4.00	3.10	3.70	3.00	2.99	3.01	3.00	0.81
	0.8-1	4.00	3.80	5.00	4.27	2.99	2.99	2.99	2.99	0.70
通宵海水浴場	0-0.2	5.00	4.00	5.00	4.67	2.98	2.98	2.99	2.98	0.64
	0.2-0.4	5.10	4.20	5.10	4.80	2.99	2.99	3.00	2.99	0.62
	0.4-0.6	6.10	4.50	5.30	5.30	2.98	2.98	2.98	2.98	0.56
	0.6-0.8	5.00	6.00	5.00	5.33	2.97	2.98	2.98	2.98	0.56
	0.8-1.0	4.10	5.40	5.00	4.83	2.98	2.98	2.99	2.98	0.62
車城鄉海邊	0-0.2	8.00	7.00	6.90	7.30	2.97	2.98	2.97	2.97	0.41
	0.2-0.4	8.10	6.30	6.10	6.83	2.98	2.98	2.98	2.98	0.44
	0.4-0.6	5.00	6.20	6.20	5.80	2.98	2.98	2.98	2.98	0.51
	0.6-0.8	6.30	6.00	5.90	6.07	2.98	2.98	2.98	2.98	0.49
	0.8-1.0	4.90	6.20	5.90	5.67	2.98	2.98	2.98	2.98	0.53
火力發電場海邊原液		5.00	6.10	5.00	5.37	2.99	2.98	2.98	2.98	0.56
通宵海水浴場原液		5.90	6.20	5.20	5.77	2.99	2.98	2.98	2.98	0.52
車城鄉海邊		11.00	9.00	8.20	9.40	2.97	2.97	2.97	2.97	0.32
家庭用水		0.90	0.90	0.90	0.90	3.01	3.01	3.01	3.01	3.34
家庭飲水		0.50	0.50	0.50	0.50	3.01	3.01	3.01	3.01	6.02

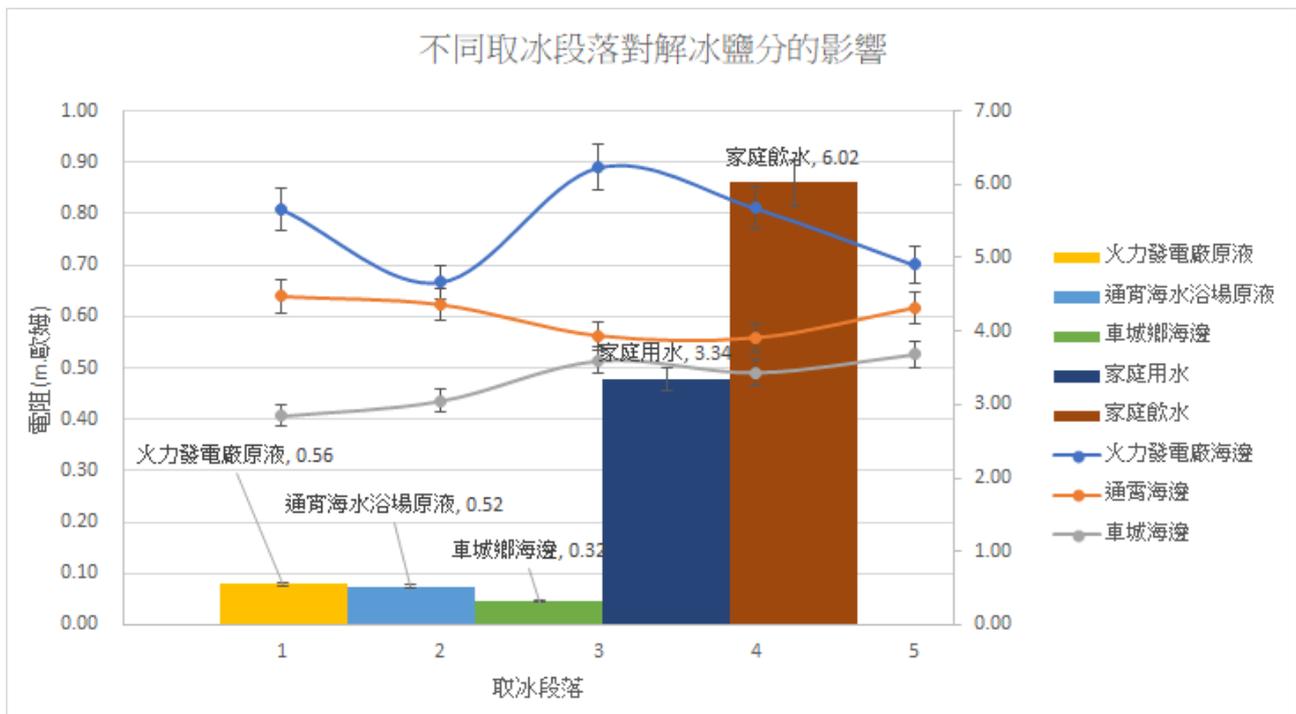


圖 5-10-1 不同取冰段落對解冰鹽分的影響

### (三) 實驗結果與討論

1. 因果: 不同取冰段落的鹽分均較原液低, 電阻稍微提高, 火力發電廠部分電阻由  $0.56\text{m}\Omega$  變為  $0.8\text{m}\Omega$  左右, 通宵漁港的海水電阻由  $0.52\text{m}\Omega$  提高為  $0.6\text{m}\Omega$  左右, 車城鄉海水由  $0.32\text{m}\Omega$  提高至  $0.5\text{m}\Omega$ , 證明解冰得水能使海水淡化, 但不同段落的冰體鹽分差異不大。
2. 原理: 結冰時能將溶質適量排出, 水分子間形成氫建, 使冰體穩固, 但可能本實驗的裝置長度不夠(約 30 公分)使得鹽水的濃度分布不清楚, 或結冰速度太快, 所以假設失敗。
3. 應用: 在本實驗設計的結冰法中, 不同段落的冰體鹽分無差異, 接下來試著嘗試不同穩固程度的冰體之鹽分差異, 假設越純質的冰體結構強不易融化, 亦即, 將測試解冰時間對水質鹽份的影響。

## 十一、不同濃度與不同地點之鹽水在不同時間下解冰的鹽分變化

(一)、假設：解冰時間越末段，得到的水質更純。

(二)、實驗結果

表 5-11-1 濃度與解冰時間對電阻影響

原始濃度	融化時間	電流(KA)	電流(KA)	電流(KA)	電流平均	電壓(V)	電壓(V)	(電壓 V)	電壓平均	電阻(Ω歐)
	0.2-0.4	6.10	5.00	4.90	5.33	2.96	2.93	2.98	2.96	0.55
0.02	0.4-0.6	8.10	5.50	7.10	6.90	3.01	3.01	3.01	3.01	0.44
	0.6-0.8	6.00	6.10	5.90	6.00	3.02	3.01	3.01	3.01	0.50
	0.8-1.0	2.60	3.00	2.90	2.83	3.03	3.03	3.03	3.03	1.07
	1.00	0.80	0.70	0.50	0.67	3.03	3.03	3.02	3.03	4.54
	0.2-0.4	9.10	8.20	7.90	8.40	2.98	2.98	3.01	2.99	0.36
0.03	0.4-0.6	8.90	6.20	7.90	7.67	3.01	3.02	2.99	3.01	0.39
	0.6-0.8	4.20	5.10	4.50	4.60	2.99	2.99	3.02	3.00	0.65
	0.8-1.0	4.90	5.10	5.00	5.00	3.01	3.04	3.01	3.02	0.60
	1.00	3.40	3.40	3.90	3.57	3.03	3.02	2.97	3.01	0.84
	0.2-0.4	11.00	12.00	9.80	10.93	2.98	2.97	2.97	2.97	0.27
0.05	0.4-0.6	9.40	9.20	6.40	8.33	2.99	2.99	3.00	2.99	0.36
	0.6-0.8	7.90	7.10	6.40	7.13	3.00	3.00	3.01	3.00	0.42
	0.8-1.0	5.70	5.70	5.70	5.70	2.99	2.99	2.99	2.99	0.52
	1.00	2.10	2.10	2.10	2.10	3.03	3.03	3.02	3.03	1.44
火力發電	0-0.2	4.00	4.00	3.10	3.70	2.99	2.98	3.01	2.99	0.81
	0.2-0.4	4.20	4.40	4.80	4.47	2.98	2.98	2.98	2.98	0.67
	0.4-0.6	3.10	3.90	3.10	3.37	3.00	2.99	3.00	3.00	0.89
	0.6-0.8	2.00	2.00	1.50	1.83	3.00	2.99	3.01	3.00	1.64
	0.8-1	1.80	1.50	1.00	1.43	2.99	2.99	2.99	2.99	2.09
通霄漁港	0-0.2	5.00	4.00	5.00	4.67	2.98	2.98	2.99	2.98	0.64
	0.2-0.4	5.10	4.20	5.10	4.80	2.99	2.99	3.00	2.99	0.62
	0.4-0.6	3.00	2.80	4.00	3.27	2.98	2.98	2.98	2.98	0.91
	0.6-0.8	2.60	2.50	2.50	2.53	2.97	2.98	2.98	2.98	1.18
	0.8-1.0	2.00	2.00	1.80	1.93	2.98	2.98	2.99	2.98	1.54
東城鄉	0-0.2	8.00	7.00	6.90	7.30	2.97	2.98	2.97	2.97	0.41
	0.2-.0.4	8.10	6.30	6.10	6.83	2.98	2.98	2.98	2.98	0.44
	0.4-0.6	5.00	4.90	4.50	4.80	2.98	2.98	2.98	2.98	0.62
	0.6-0.8	3.30	3.30	2.00	2.87	2.98	2.98	2.98	2.98	1.04
	0.8-1.0	2.00	1.90	1.50	1.80	2.98	2.98	2.98	2.98	1.66
家用生水		1.90	1.20	1.60	1.57	3.01	3.03	3.03	3.02	1.93
家用飲水		0.70	0.20	0.10	0.33	3.02	2.97	3.02	3.00	9.01

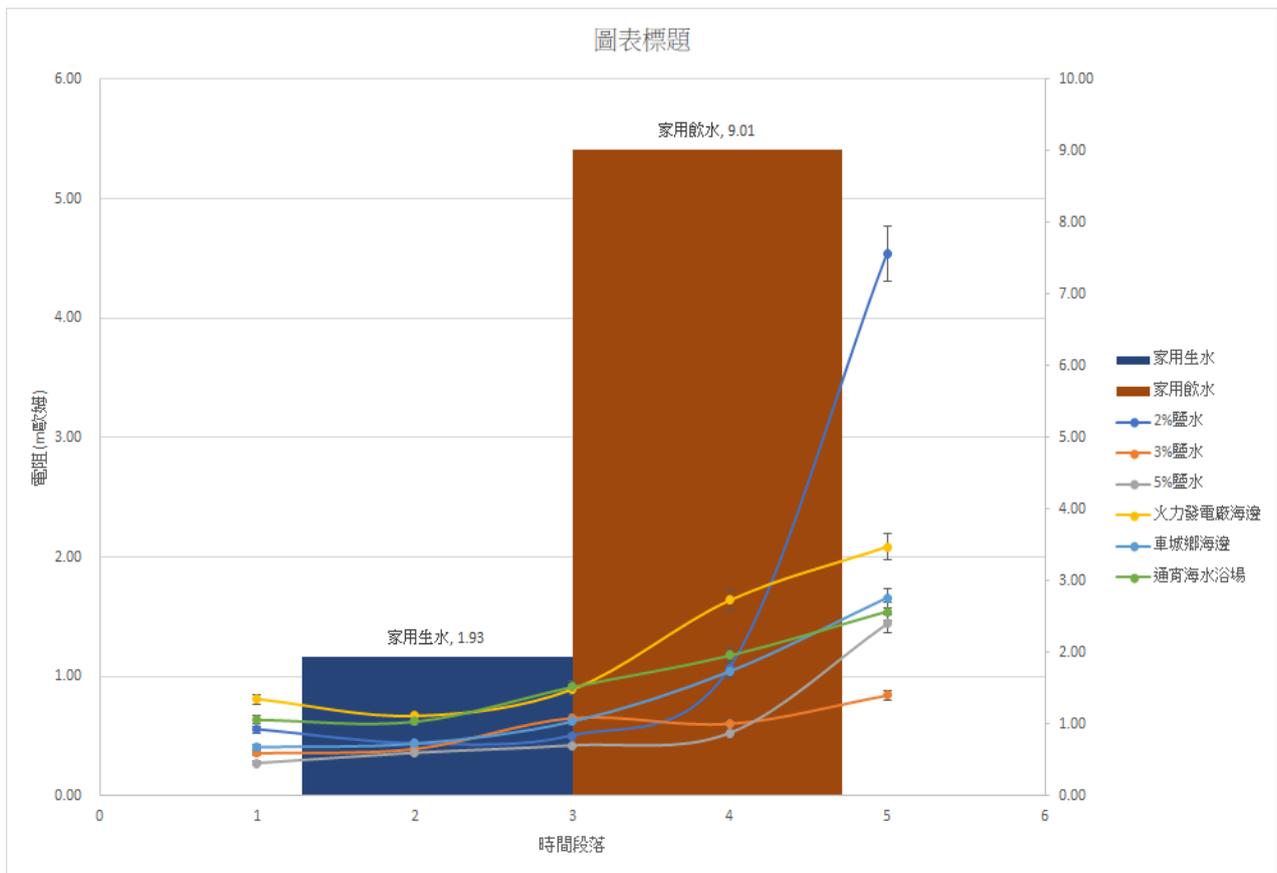


圖 5-11-1 不同解冰時間與濃度對解冰後電阻變化

### (三) 實驗結果與討論

#### 1. 因果:

(1) 以 0.8-1.00 段落解冰時間來看電阻大小比較:2%>5%=3%，故鹽水濃度越低，解冰後水質鹽分不見得越低。

(2) 以電阻推估鹽分水質，可做為家庭用水水準的為各種水體(含 2%-5%模擬海水與三個實地海水)解冰時間 0.8-1.0 時段。所以一般海水使用本實驗設計之結冰淡化法取最後 20%時間融化的冰體可以作為家庭用水。

#### 2. 原理:

(1) 推測水結冰時排出鹽分，如果給足夠時間結冰，在冰體中的鹽分應該差不多，解冰的過程應受對流、室溫等外在條件影響為多，所以鹽水濃度對結冰速率有影響，但對解冰後水質鹽分影響不大。

(2) 以時間來看，越後段的解冰電阻越低，可能是結冰越純，水結構越穩固，固假設成立。

3. 應用: 解冰方向應以長條狀鉛直方向進行，取末段時間的冰體融化，產生的淡水可以供民生用水。海水前處理後的純度越高，水質越好，可能為家用飲水所用。

## 陸、結論

本研究建議以結冰法淡化海水的流程如下：

### 一、海水前處理

一、使用 50°C 到 80°C 之熱水進行結冰：效果優於常溫水結冰，建議利用太陽能加熱後再進入製冰機製冰，速率可提高接近 2 倍製冰效率(30°C 與 60°C 的差異)。

二、海水稀釋使濃度不超過 1%：海水要進行結冰淡化時，應該要先行稀釋使濃度不超過 1%，對結冰量的影響最小，且可得節省能源的最大值。

### 二、容器設計

一、使用細長冷卻管：容器的散熱系統與容器內液體的熱對流系統會相互干擾性，當熱對流單一化時應具有較佳的結冰效率。減少散熱面積及增加水體高度可提高結冰率。

二、製冰容器應在容器上方絕熱，容器下 20%面積為吸熱區：流體溫差最大時有最好的結冰效率，容器的熱交換區應至於容器中段，可使內部流體產生最大溫差。

四、製冰容器下方表面裝置的散熱片：建議急速冷凍海水淡化系統的設計，只要在容器下方表面裝置 20%面積的散熱片即可節省能源，且達快速結冰的效果。

五、容器內部加裝 25%面積比的凝結棒：凝結棒可在容器上方產生足夠的冷水流，可以加速熱交換，增加結冰速率。

本研究產出的海水淡化節能容器約可節能 **6.72 倍**。

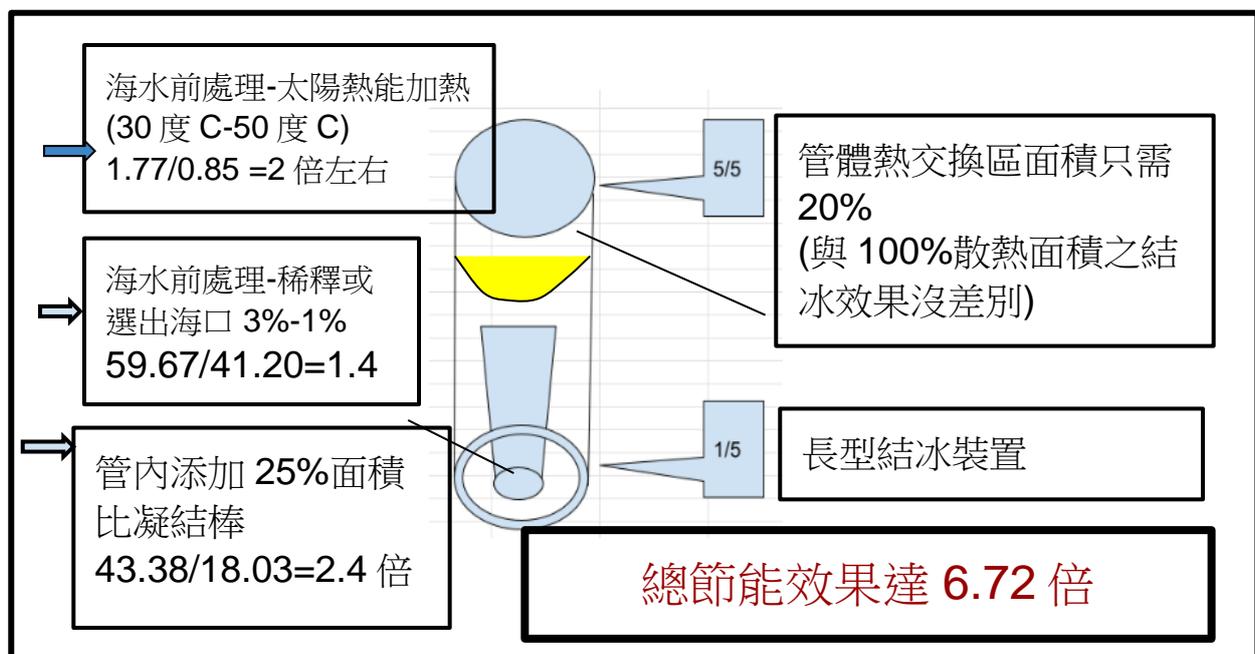


圖 6-1-1 節能結冰容器實驗結果整理

### 三、解冰應用

一、可利用電阻數值檢測水中鹽分濃度，其決定係數( $R^2$ )高達 0.9954。

二、不同解冰段落的鹽分均較原液低，電阻稍微提高，證明解冰得水能使海水淡化，但不同段落的冰體鹽分差異不大。

三、可做為家庭用水水準的為各種水體的解冰時間 0.8-1.0 時段，所以一般海水使用本實驗設計之結冰淡化法取最後 20%時間融化的冰體可以作為家庭用水。海水前處理後的純度越高，水質越好，甚至有可能為家用飲水所用。

四、利用本實驗法進行海水淡化，每次取最後 1/5 段落時間水體可用，其他水體應進入第二次結冰解冰，多次循環。

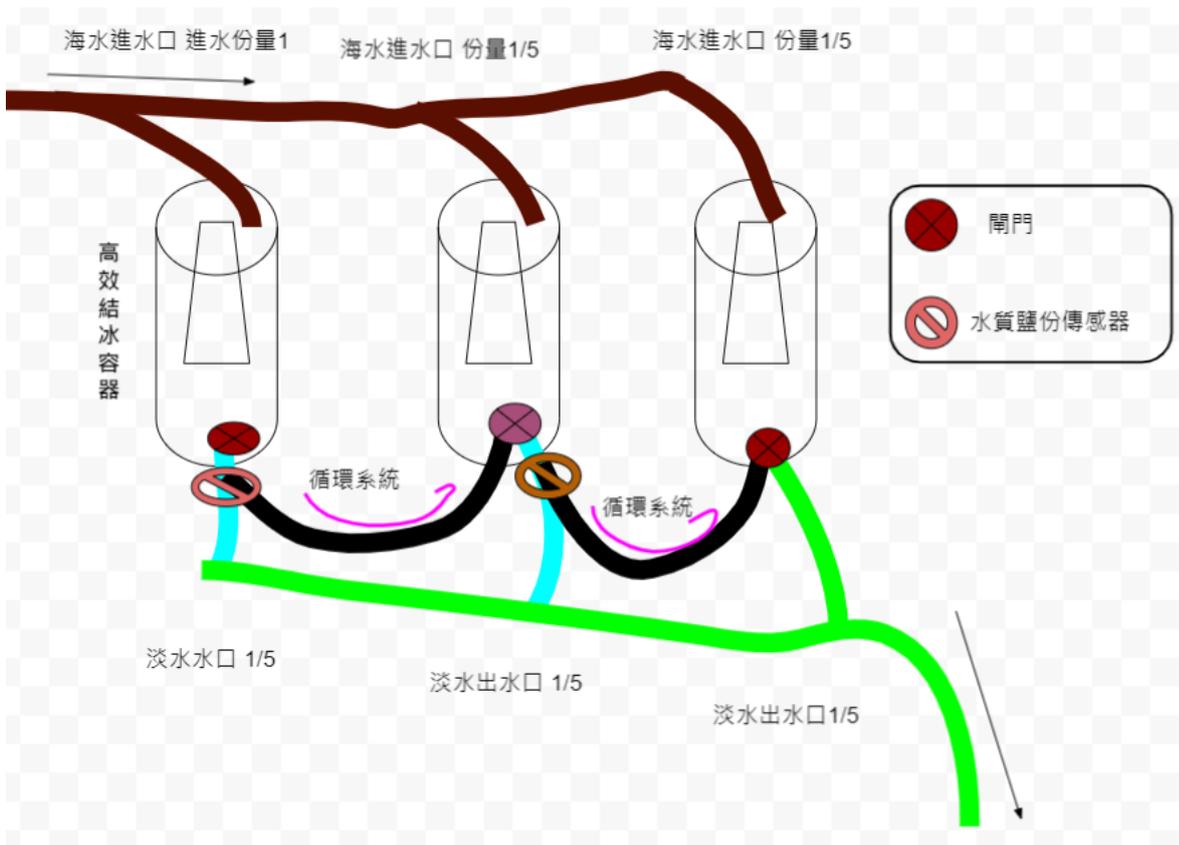


圖 6-1-2 解冰循環裝置

#### 四、海水結冰淡化法與其他海水淡化法的成本效益比較

表 6-1-1 本實驗高效結冰淡化法與其他海水淡化法的比較

方法名稱	結冰解冰淡化法	逆滲透法	海水蒸發法	離子交換法	多級閃化蒸餾法
原理	利用海水快速結冰，再解冰後得到淡水。	原理為施以外力，水由，濃鹽水至稀鹽水滲透的過程，滲透分離技術，逐漸成為新趨勢。	蒸餾法是通過加熱海水使之沸騰汽化，再把蒸汽冷凝成淡水的方	原水中的各種無機鹽陽離子、陰離子，經過陽、陰離子交換樹脂時，與氫離子和氫氧根離子發生置換反應，產生純水。	閃化以減壓方式降低液體沸點，並產生蒸氣，使蒸氣冷凝後就可製得淡水。
耗能(度/噸)	約 2[註一]	約 2~4	約 1.5	無資料	約 3.5
優點	1. 裝置簡單，建造成本低。 2. 耗能偏低。	1. 逆滲透法只需電能，不需蒸汽，因此，若電能供應充沛即可裝設。 2. 因模組化之故，裝設較	1. 水質好。	1. 無機離子的去除能力優良。 2. 交換樹脂具再生能力。	1. 極少有礦物質沉澱，改良海水蒸發淡化法。
缺點	1. 尚未模組化，待開發研究。	1. 需要較複雜的前置處理設備。 2. 薄膜成本高且其使用命有限。	1. 造價高。 2. 無法大規模的生產。	1. 樹脂會有有機物溶出的情形。 2. 樹脂表面會有微生物的增殖。 3. 樹脂的崩解碎片等會造成水中顆粒的增加。	1. 需要耗能調整大氣壓力。

註一：600ml 家用冰箱結冰需要 2 小時，室溫解冰 2 小時，可得 120ml 淡水電冰箱 2 小時耗能  $-0.13 \times 2 = 0.26$  度，轉換後產生 1 公噸淡水約耗能 2 度。

## 柒、參考資料及其他

于農業(2017)以色列：五大技術幫助世界對抗水資源短缺，。20201118 節錄自：

<https://kknews.cc/zh-tw/agriculture/mangb4z.html>

小太陽(2010)何謂純化，yahoo 知識。20201022 節錄自：

<https://tw.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080110000010KK02142>

丘雅鈺(2006)彭巴效應之實驗探討，臺灣國際科展。20201021 節錄自：

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=116&a=6822&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=3&sid=2980>

吉米·威爾斯、拉里·桑格(2020)彭巴效應，維基百科。取自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki>

吉米·威爾斯、拉里·桑格(2020)海水淡化，維基百科。20201118 節錄自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%B7%E6%B0%B4%E6%B7%A1%E5%8C%96>

吳雪舫(2016)向大海要水喝，逆滲透海水淡化技術，。20201118 節錄自：

<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/sWbS.htm>

香港潔淨水(2018)海水淡化是好是壞。20201118 節錄自：

<https://www.hk-water.com/blog/post/view/id/142/>

翁秉仁(2001)牛頓冷卻定律，基礎數學講義。

20201022 取自：<http://episte.math.ntu.edu.tw/>

隅產業(2019)在缺水沙漠區變成擁水大國：以色列的造水奇蹟，。20201118 節錄自：

<https://sousoucorner.org/media/desalination-in-israel/>

維思維(2020)彭巴效應，Youtube。20201118 節錄自：

<https://www.youtube.com/watch?v=Dq000wHL80o&t=2s>

鄭永銘(2016)彭巴效應，跟著鄭大師玩科學。20201021 節錄自：

<https://www.masters.tw/116161/%E5%BD%AD%E5%B7%B4%E6%95%88%E6%87%89>

鄭悅海，羅珮華(2002)海水結冰時的鹽度變化—海冰是什麼味道？，科學教育月刊 第 255 期。20201112 節錄自：[http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/91\(246-](http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/91(246-255)/255/66%E6%B5%B7%E6%B0%B4%E6%98%AF%E4%BB%80%E9%BA%BC%E5%91%B3%E9%81%932.pdf)

[255\)/255/66%E6%B5%B7%E6%B0%B4%E6%98%AF%E4%BB%80%E9%BA%BC%E5%91%B3%E9%81%932.pdf](https://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/91(246-255)/255/66%E6%B5%B7%E6%B0%B4%E6%98%AF%E4%BB%80%E9%BA%BC%E5%91%B3%E9%81%932.pdf)

賴鵬翔、陳韋宗(2020)限水惡夢要來了？揭台灣水資源的秘密，自由追新聞。20201103 節錄自：<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/3321648>

顏政雄(2002)力學名詞辭典，對流熱傳遞。

20201022 取自：<http://terms.naer.edu.tw/detail/1326385/>

吉米·威爾斯、拉里·桑格(2019)凝固點降低，維基百科。

20201020 取自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%87%9D%E5%9B%BA%E7%82%B9%E9%99%8D%E4%BD%8E>

## 【評語】 032906

1. 本作品採用海水結冰/解冰技術取得較低鹽度的水，實驗設定是利用彭巴效應與熱量傳播原理，先將海水凝固形成淡水冰再融化取出純水。透過初步設計實驗尋求 50 度 C 的海水將有利於因為水分子內氫鍵因素而達到淡化效能。研究性質深具民生議題，且有初步設備概念發想。實驗設計有三部分：海水前處理、結冰容器設計、解冰部分。實驗內容相當豐富，主要涉及熱的傳導、對流現象以及水的鹽度測量。研究主題新穎，透過自創法優化系統，實驗過程細膩，團隊相當用心，依據數據結果，能剖析並比較其效益。
2. 建議納入水密度隨溫度變化的影響於實驗結果討論。本作品的淡水品質僅以導電度為指標，若與其他海水淡化法(水質較佳)直接比較耗電量，基準點不一致。研究作品進行一系列相當完整且目的清晰的實驗，在海水前處理和冷卻管的設計上都有細緻的思考，對每一項實驗的結果都作了因果關係的分析以及原理解釋和應用的闡釋，符合探究與研究之精神。
3. 此外，作品最後針對節能部分之計算統計需更謹慎。

## 作品簡報



# 「冰清玉潔」---「結冰法 海水淡化系統」的設計

彭巴效應、熱能傳播、海水淡化

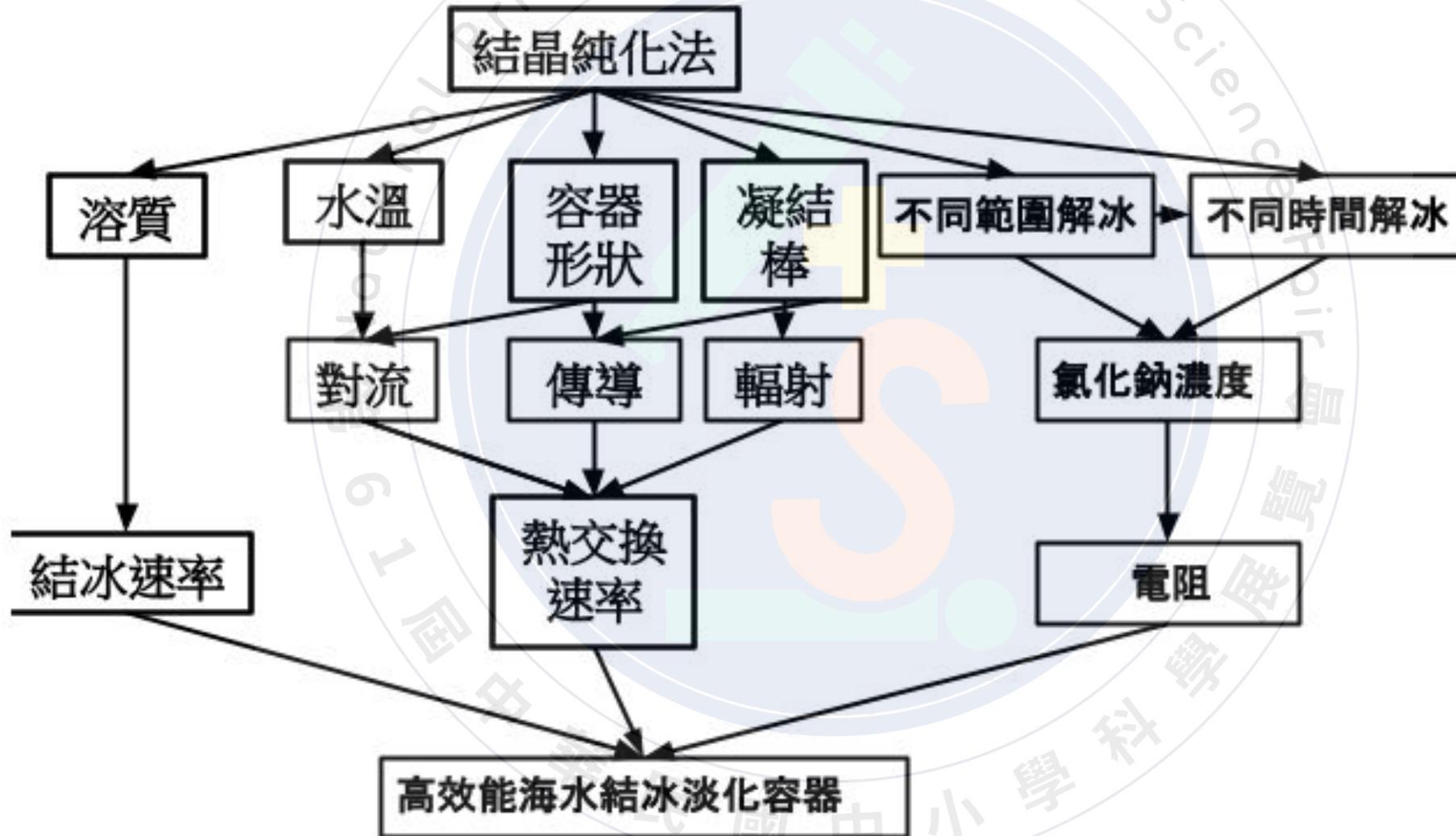
## 研究動機

- 全球氣候變遷，台灣的缺水情況日益嚴重，2020更是罕見的沒有颱風登陸。
- 本研究利用**彭巴效應與熱量傳播原理**，設計**高效能結冰容器**進行海水結冰後融化取淡水，幫助解決**淡水資源缺乏**的問題。

## 研究目的

- 一、不同**水溫**與**濃度**海水對結冰率的影響。
- 二、不同**容器形狀**、**熱交換區位置**、**熱交換區範圍大小**對結冰率的影響。
- 三、不同**融化時間**與**解冰範圍**海水對**水鹽分**的影響。

# 研究架構圖

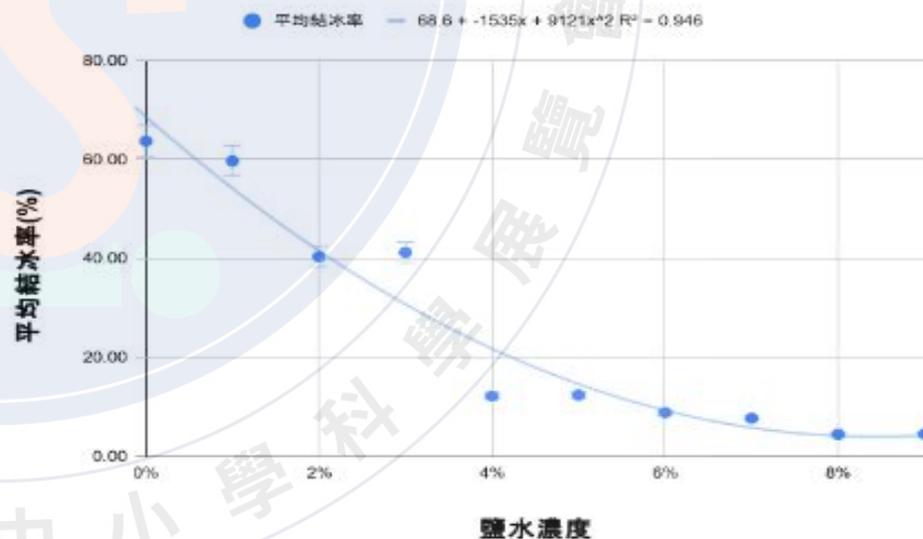
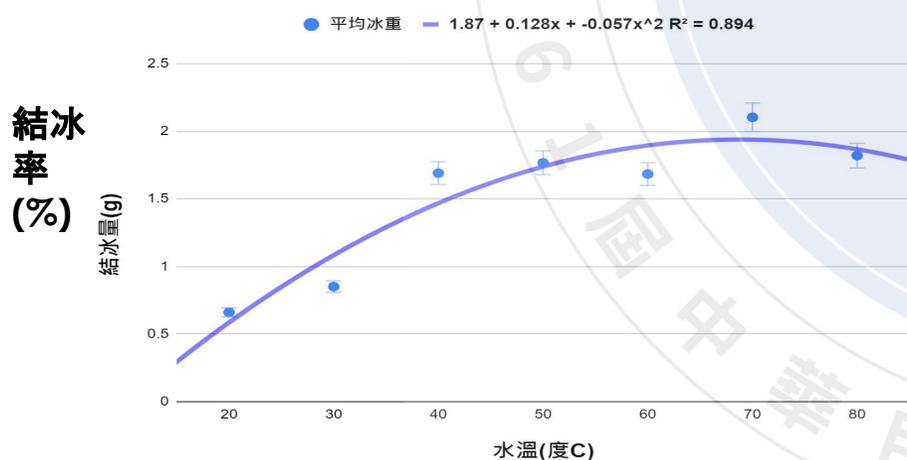


# 研究結果

## 一、不同水溫與濃度海水對結冰率的影響。

- 海水前處理:沉澱->過濾->升溫->稀釋
- 1.模擬海水溫度50°C到60°C時製冰效率最高。
- 2.模擬海水稀釋至濃度1%，結冰速率最快。

圖5-1-1不同水溫對製作透明冰體並純化水的影響



# 研究結果

- 二、不同**容器形狀、熱交換區位置、熱交換區範圍大小**對結冰率的影響。
- 1. 容器中**段與底部**應該是最佳熱交換區。
- 2. 圓柱狀容器設計為**偏上方80%絕熱，偏下方20%面積**為熱交換範圍。



散熱位置對結冰率的影響

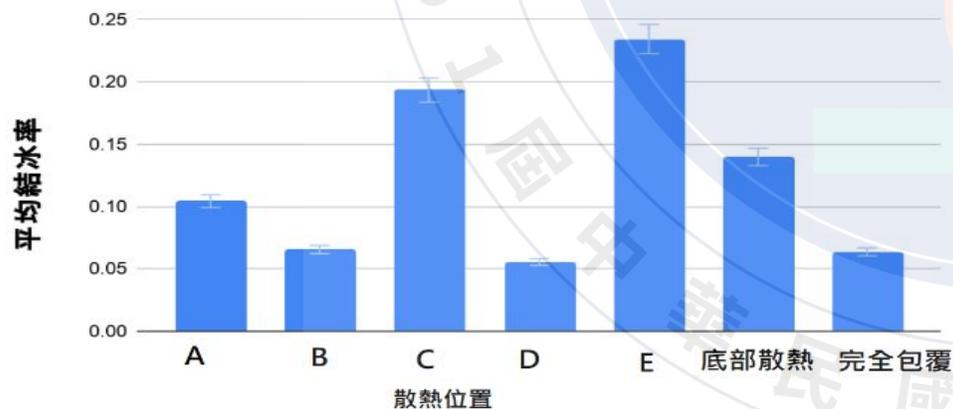
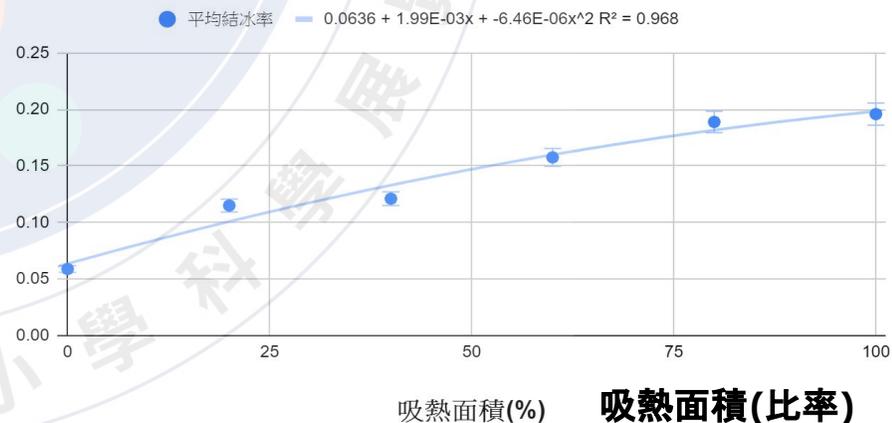


圖5-2-5 不同吸熱面積對結冰率的影響



# 研究結果

- 3.在容器中添加與容器開口面積比例**25%**之**金屬凝結棒**幫助海水**傳導與對流**。
- 4.容器開口比例對結冰率無影響，**容器應以長柱型為佳**。



圖5-6-1 金屬凝結棒面寬對結冰率的影響

● 平均結冰率 —  $0.187 + 2.18x + -8.01x^2 + 7.32x^3$   $R^2 = 0.416$

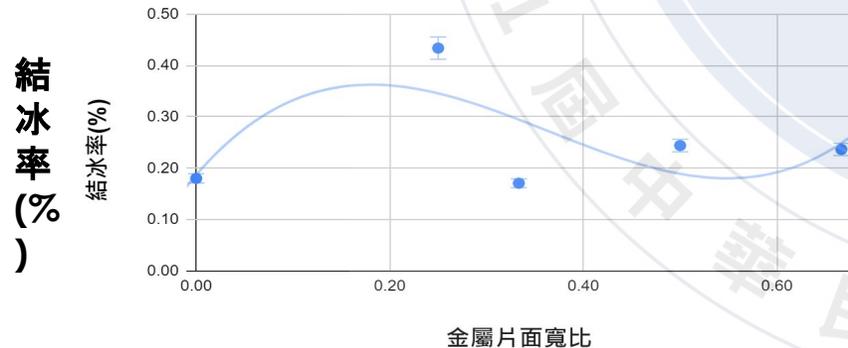
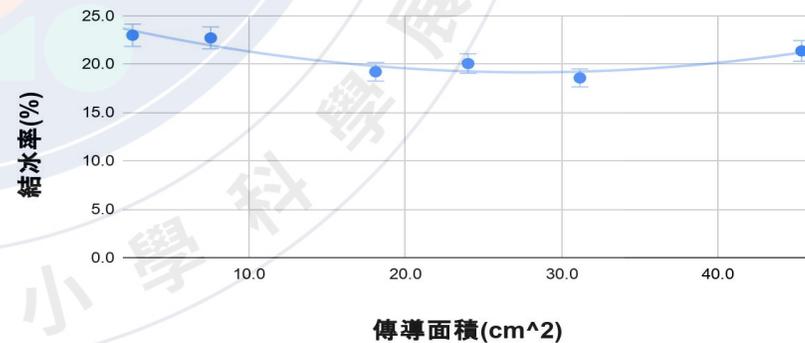


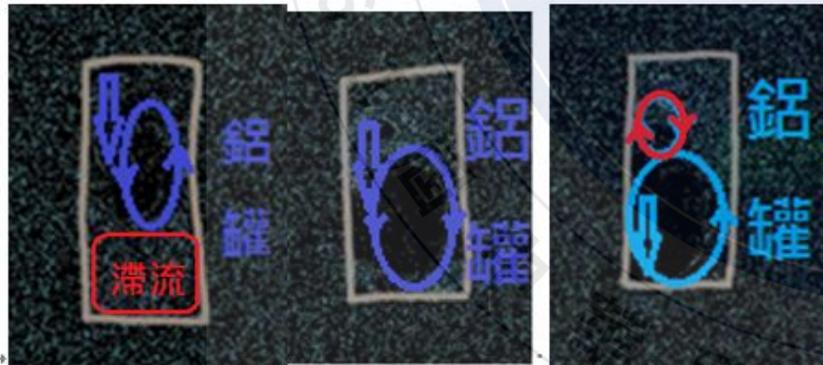
圖5-7-1 不同傳導面積對結冰率的影響

● 結冰率(%) — 結冰率(%)的趨勢線  $R^2 = 0.865$



# 主要實驗結果討論

- 溫水結冰速度比冷水快應該是因為彭巴效應發生。
- 食鹽是電解質溶於水後易解離帶電，所以濃度高電極越多，越會使冰晶的氫鍵鍵結不易，故濃度越高則結冰率越低。
- 散熱及導熱區在容器下方可使水溶液體產生足夠的對流使水溶液循環達均勻散熱的作用，結冰率會比上方先結冰產生隔熱冰層來得快速。
- 金屬吸熱面寬約為總面積的1/4時會產生足夠下降的水量，推動下方一半的容積進行熱對流。吸熱面積太大反而冷水的容積小，無法產生足夠水量的冷水流，推動凝結棒下方的熱水流，不易進行熱交換。



照片 5-5-3 不同吸熱位置對流體運動區塊模擬

(圖左 A 點吸熱，圖中 C 點吸熱，圖右 D 點吸熱)

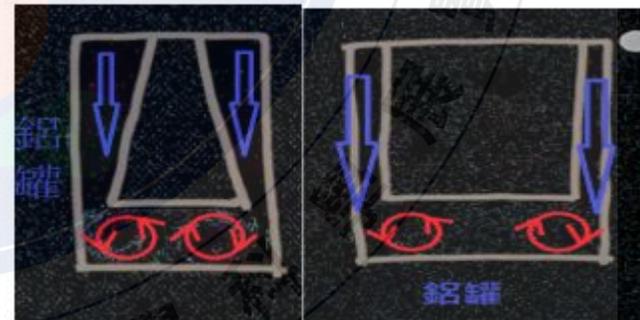
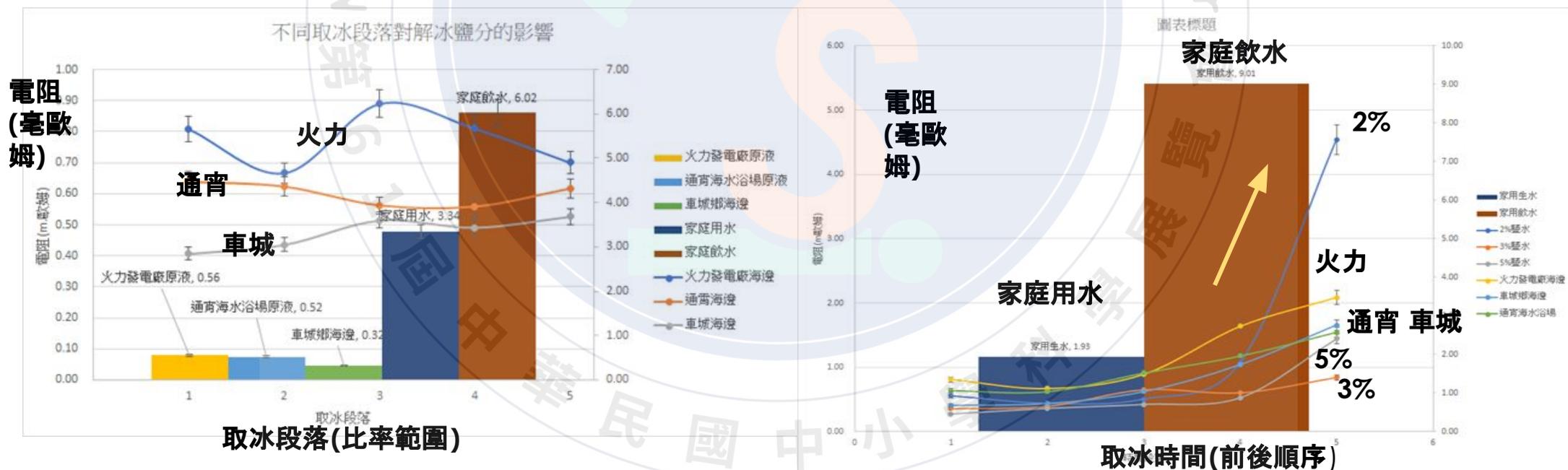


圖 5-7-2 冷水流與熱水流的热交換動畫模擬圖

# 研究結果與討論

## 三、不同融化時間與解冰範圍海水對水鹽分的影響。

- 1.不同解冰段落的鹽分均較原液低，但差異不大。
- 2.水體的解冰時間0.8-1.0時段，可以作為家庭用水。其他水體應多次循環淡化。
- 3.本實驗實地海水(車城、通宵與大安海域)取末段時間的冰體融化，產生的淡水可以供民生用水。海水前處理後的純度越高，水質越好，可能為家用飲水所用。



## 主要實驗結果與討論

- 電解質濃度越高，電流越高，電阻越低。本實驗將濃度與電阻對數作圖得方程式 $y=0.246\ln(x)+0.7547$ ， $R^2=0.9954$ 。所以電阻能有效對應食鹽水濃度。
- 結冰時能將溶質適量排出，水分子間形成氫建，使冰體穩固，但可能本實驗的裝置長度不夠(約30公分)使得鹽水的濃度分布不清楚，所以解冰範圍不造成鹽分差異。
- 以時間來看，越後段的解冰電阻越低，由此說明鹽分越低的冰體結冰越穩固，解冰的時間後段才能得到淡水。

# 結論

一、使用細長冷卻管與容器下方20%面積範圍為熱交換區，內部加裝25%面積比例之錐狀形金屬凝結棒。

二、本研究產出的海水淡化節能容器約可節能6.72倍，相關計算如右圖。

三、本實驗生產海水的能源成本為2度/噸，相較逆滲透法為2-4度/噸，海水蒸發法為1.5度/噸，減壓蒸餾法為3.5度/噸，本結冰淡化法為中偏低的能源消耗。

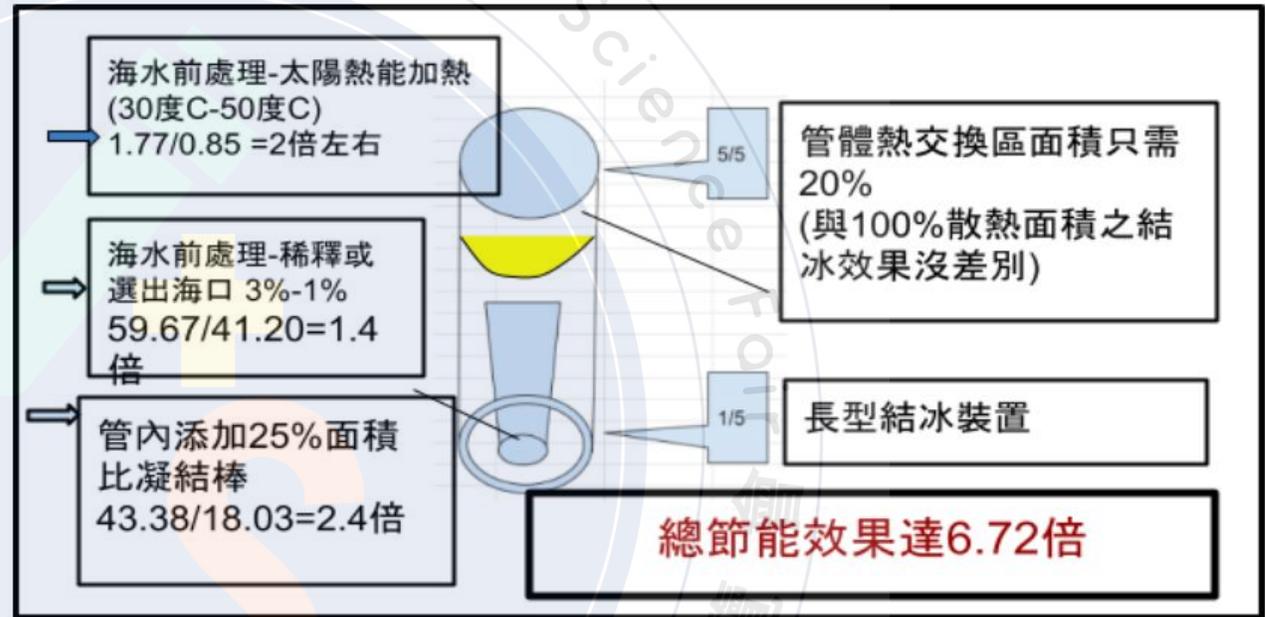
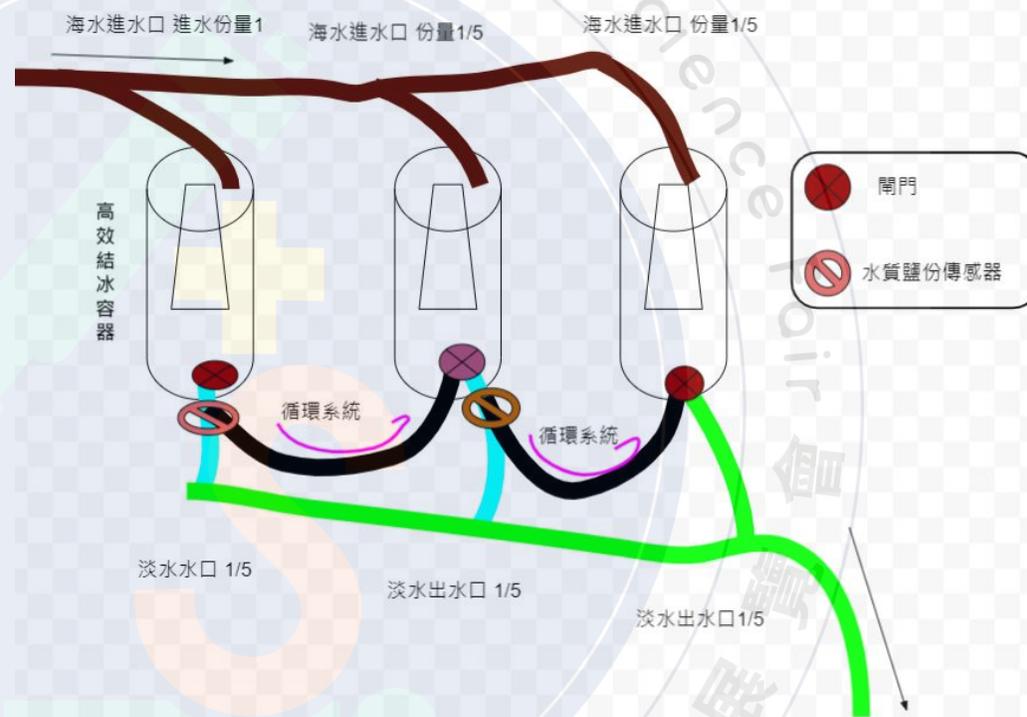


圖6-1-1 節能結冰容器實驗結果整理

# 結論

本實驗發現不論**模擬海水或實地海水**均可適用**結冰淡化海水法**，每次取最後**1/5**段落時間水體，其水質鹽分可用做家庭用水，其他水體應進入第二次結冰解冰，多次循環。右圖是簡化的模擬系統概念。



報告完畢 感謝聆聽 敬請指教

