

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組地球科學科

040504

國立臺南第一高級中學

指導老師姓名

邱文光

鄧明聖

作者姓名

陳宜豪

朱振綸

黃威勝

中華民國第四十四屆全國中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：地球科學科

組 別：高中組

作品名稱：台灣冷泉的實驗室模擬

關 鍵 詞：冷泉、熱電偶、絕熱膨脹

編 號：

台灣冷泉的實驗室模擬

壹、研究動機：

除了義大利外，台灣地區得天獨厚擁有冷泉，近年來，蘇澳冷泉更成爲一個名聞遐邇的旅遊勝地，蘇澳冷泉的泉水純淨，湧出量大，既可飲用、沐浴也可供其他用途，對於這神奇的泉水究竟是如何產生的，筆者感到非常的好奇，於是設計了一些實驗，期望能更加瞭解它的成分組成及形成原理，進而揭開她神秘的面紗。

貳、研究目的：探討冷泉的成因

- 一、水流經各種不同岩石對水溫的影響
- 二、泉水 pH 值造成化學反應對水溫的影響
- 三、不同的壓縮氣體在相同流速下通過泉水，對水溫的影響
- 四、壓縮氣體，在不同流速下通過泉水，對水溫的影響
- 五、將實驗結果與冷泉湧出地之地層、泉水的 pH 值及化學物質做比較

參、研究原理

一、熱電偶：

係以兩不同膨脹係數之金屬線一端點焊固定後，在溫度變化時由於膨脹係數的不同，造成兩金屬的另一端產生電壓差，再透過轉碼將此電壓轉換成所需要的數值。

二、絕熱膨脹：

所謂絕熱膨脹是指一定質量的理想氣體在與外界沒有熱量交換的情況下進行的膨脹過程。由於膨脹過程氣體要對外做功，所以根據熱力學第一定律 $\Delta U=W+Q$ 可知，氣體內能減少，即此膨脹過程中氣體的溫度會降低。

肆、研究設備及器材：

一、野外探勘

- | | |
|-------------|--------|
| 1. 電導感測電極 | 3. 溫度計 |
| 2. 攜帶式 pH 計 | |

二、熱電偶校正曲線：

- | | |
|------------|-----------|
| 1. 雙極電源供應器 | 4. 熱電偶 |
| 2. 三用電表 | 5. 訊號放大線路 |
| 3. 溫度計 | |

三、泉水流動模擬裝置：

- | | |
|---------------------|------------|
| 1. 各種岩石（石灰岩、板岩、玄武岩） | |
| 2. 氣體（二氧化碳、氮氣） | |
| 3. 塑膠管 | 5. 氣壓調整感測器 |
| 4. 熱電偶溫度探測器及訊號放大線路 | 6. 珍珠板 |

- | | |
|---------|----------|
| 7. 篩網 | 10. 碳酸鈉 |
| 8. 冰醋酸 | 11. 碳酸氫鈉 |
| 9. 氫氧化鈉 | |

伍、研究過程及方法：

在老師的帶領下，筆者前往位於高雄縣大崗山的冷泉飯店及向竹林硫磺冷泉進行採樣，得到了以下的結果：

編號	一號池	二號池	三號池
溫度(°C)	21	22	22
pH 值	6.89	7.03	6.97
電導值(μ s/cm)	874	1366	1204

註：(1)當時氣溫 25°C

(2)當地共有 3 個水源：一號池為 1 號水源；二號池為 1、2 號水源混合；三號池為 1、2、3 號水源混合

(3) 3 號水源有甲烷的存在

向竹林冷泉	
溫度(°C)	23
pH 值	6.85
電導值(μ s/cm)	665

註：向竹林冷泉有強烈的硫磺味

在綜合各項資料後，可以初步做一個推論：

- 一、由於大部分的冷泉都伴隨著大量氣體，因此推測可能在地底下儲存有大量的壓縮氣體，與泉水混合，在到達地面期間，因為壓力減小而產生絕熱膨脹的效應使水溫降低。氣體主要以二氧化碳、甲烷為主。例如燕巢泥火山，地底不斷有甲烷冒出，而使泥漿溫度降低。
- 二、地質資料顯示，某些冷泉地區含有大量的石灰岩地層，而碳酸鹽類遇到酸會產生吸熱的化學反應，筆者也將之列為可能的變因。但因為各地泉水的 pH 值非常接近中性，是否真能使水溫降低很多，尚待實驗證明。
- 三、另外有一些位於山腳下冷泉與前二者不符，推測是高山上較冷的水經地下水層流至泉源所造成。

根據以上三點及實驗結果，筆者預期建立一個模擬冷泉在大自然中降溫的模型。包括可使水流過岩石，及氣體打入的部分。

以下為三個實驗的過程：

- 一、熱電偶的校正

本實驗主要是爲了實驗二三所做的準備工作，由於無法模擬冷泉在大自然的實際情形，因此將它縮小，但如此一來水溫的改溫會非常微小，爲避免一般溫度計達到熱平衡尚須一段時間，會影響測量的準確度，筆者以更靈敏的熱電偶來測量水溫，故須在使用之前做校正的動作。

1. 裝設訊號放大器（如附圖二）
2. 將熱電偶接上訊號放大器
3. 將熱電偶基準端放在恆溫槽中，保持固定溫度；測量端放在一杯 2 公升的水中，改變溫度
4. 測量在不同溫差時所輸出的電壓
5. 將得到溫差與電壓的數據繪成校正圖表 $\Delta T = aV^2 + bV + c$

二、模擬管路的熱功當量及散熱速率之求取

爲使實驗更準確，考慮到管路也會影響溫度，必需先求出管路吸收之熱量之速率，在實驗中將之扣除，才可得到真正降低的溫度。

1. 取塑膠管一截，在卡計中測量其熱容量，再按比例放大爲實際測試管之熱容量
2. 裝入各種岩石（顆粒大小相同）及水於上述「縮短」尺寸之壓克力管中求其熱容量，並放大爲整個裝置熱容量
3. 再利用下列校正式得系統真正降低的溫度

$$\Delta T_{真} = \frac{(C_{外} + C_{內}) \times \Delta T_x}{C_{內}}$$

三、泉水降溫模擬

(一) 泉水 pH 值的影響

在實驗過程中，筆者想探討石灰岩遇到酸的化學反應是否會造成降溫。因此以醋酸與氫氧化鈉配成緩衝溶液，加入石灰岩，觀察是否降溫。詳細過程如下：

1. 考慮到實地情形以硫磺泉與碳酸泉爲主，而其中硫磺泉的 pH 值較低，以亞硫酸爲樣本，配製 pH 值 5.2 的緩衝溶液。
2. 用 1 mol 的醋酸 CH_3COOH ，加 0.74 mol 的氫氧化鈉 $NaOH$ ，加水配製成 1000 mL 的溶液。
3. 加入石灰岩，觀察到有冒泡的現象，但溫度測量並沒有降溫（ $33^\circ C \rightarrow 33^\circ C$ ）。
4. 取 2. 的溶液，加入碳酸氫鈉 $NaHCO_3$ 。有冒泡，且有明顯降溫（ $33^\circ C \rightarrow 29^\circ C$ ）。

由實驗結果推測石灰岩中的碳酸根、碳酸氫根等，濃度太低不足以使溫度明顯下降。而在地底下，即使有大量的石灰岩長時間反應，由於降溫速率不大，熱量立即會從周圍補充，因此由泉水酸性所造成的化學反應不是冷泉降溫的主要原因。

(二)絕熱膨脹造成的影響

由先前的實驗可了解氣體的絕熱膨脹才是冷泉降溫的主因，在接下來的實驗中將模擬氣體的絕熱膨脹，並經由實驗瞭解不同岩石、不同氣體及氣體壓力對水溫變化的影響。野外之氣體主要是二氧化碳及甲烷，但由於甲烷具有危險性，故不使用，只以二氧化碳做實驗，並以氮氣作為對照組。

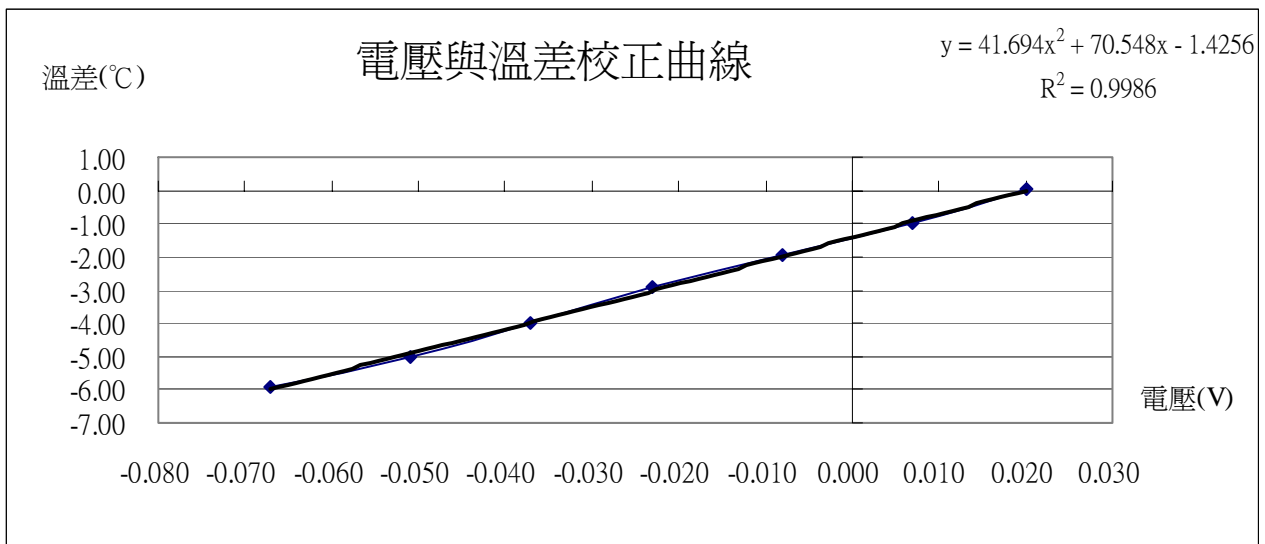
- 1.將管路裝設完成（如附圖三）
- 2.將岩石敲碎，利用上下兩層網孔大小不同之篩網篩取，留下中間顆粒大小相近的岩石（直徑在 0.7 cm~1.8 cm之間）
- 3.在塑膠管中放置定量的水及事先處理過的岩石，再將氣體打入管中，記錄電壓及流量，並計算出溫度的變化
- 4.將三個變因：
 - (1) 氣體種類：二氧化碳、氮氣
 - (2) 岩石種類：板岩、石灰岩、玄武岩
 - (3) 氣體壓力交叉做實驗，將所得的結果製成表格
- 5.分析實驗結果，並與冷泉產生地的實際情形做比較

陸、研究結果：

一、熱電偶校正曲線

基準端(°C)	測量端(°C)	溫度差(°C)	電壓差(V)
0.03	0.05	0.02	0.020
0.01	-0.99	-1.00	0.007
-0.06	-2.02	-1.96	-0.008
-0.04	-2.96	-2.92	-0.023
0.00	-4.00	-4.00	-0.037
0.01	-5.03	-5.04	-0.051
0.03	-5.87	-5.90	-0.067

註：溫度以 29.70°C 為基礎



圖表(一)

二、模擬管路的熱容量

塑膠管的熱容量 $C = 155.9 \text{ cal/}^\circ\text{C}$

板岩的熱容量 $C = 110.6 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ (700g)

石灰岩的熱容量 $C = 132.8 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ (700g)

玄武岩的熱容量 $C = 128.1 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ (700g)

加入的水量 $C = 350 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ (350g)

$$\Delta T_{\text{真}} = \frac{(C_{\text{管路}} + C_{\text{岩石}} + C_{\text{水}}) \times \Delta T_{\text{測}}}{C_{\text{岩石}} + C_{\text{水}}}$$

三、泉水降溫模擬

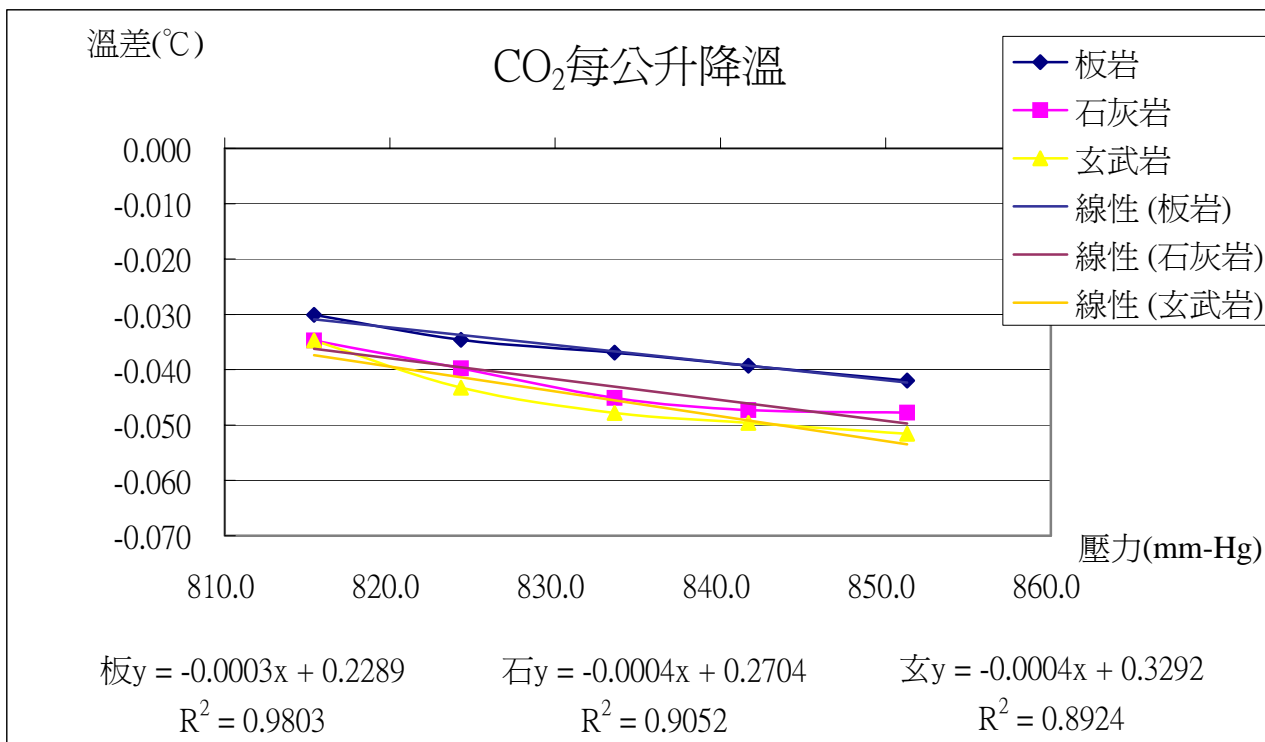
氣體	岩石	壓力 (mmHg)	流量 (L)	平均電壓 差(V)	平均溫差 ($^\circ\text{C}$)	修正後 ($^\circ\text{C}$)	每公升降 溫($^\circ\text{C/L}$)	熱量變 化(cal)	每公升氣體 帶走的熱量 (cal/L)
CO ₂	板 岩	815.4	20.7	0.014	-0.466	-0.623	-0.0301	-264.94	-12.792
		824.3	27.7	0.010	-0.716	-0.958	-0.0346	-397.35	-14.351
		833.6	35.0	0.007	-0.965	-1.292	-0.0369	-573.17	-16.386
		841.7	41.3	0.003	-1.214	-1.624	-0.0393	-704.50	-17.046
		851.3	48.9	-0.002	-1.531	-2.050	-0.0420	-965.77	-19.768
	石 灰 岩	815.4	20.7	0.013	-0.537	-0.719	-0.0347	-274.49	-13.252
		824.3	27.7	0.009	-0.823	-1.101	-0.0398	-548.35	-19.804
		833.6	35.0	0.004	-1.178	-1.577	-0.0451	-775.11	-22.159
		841.7	41.3	-0.001	-1.461	-1.955	-0.0473	-910.53	-22.031
		851.3	48.9	-0.005	-1.742	-2.332	-0.0477	-1135.16	-23.236

	玄武岩	815.4	20.7	0.013	-0.537	-0.719	-0.0347	-363.29	-17.540
		824.3	27.7	0.008	-0.894	-1.197	-0.0432	-544.32	-19.658
		833.6	35.0	0.003	-1.249	-1.672	-0.0478	-814.27	-23.279
		841.7	41.3	-0.002	-1.531	-2.050	-0.0496	-948.53	-22.951
		851.3	48.9	-0.007	-1.882	-2.520	-0.0516	-1215.63	-24.883
N2	板岩	815.4	29.7	0.009	-0.823	-1.101	-0.0371	-573.17	-19.294
		824.3	36.7	0.006	-1.001	-1.340	-0.0365	-617.00	-16.799
		833.6	44.1	0.001	-1.355	-1.814	-0.0412	-791.79	-17.969
		841.7	50.5	-0.005	-1.742	-2.332	-0.0462	-1052.44	-20.860
		851.3	58.0	-0.009	-2.057	-2.753	-0.0475	-1311.24	-22.598
	石灰岩	815.4	29.7	0.003	-1.249	-1.672	-0.0563	-820.31	-27.613
		824.3	36.7	0.001	-1.390	-1.861	-0.0507	-865.45	-23.564
		833.6	44.1	-0.004	-1.672	-2.238	-0.0508	-1090.34	-24.745
		841.7	50.5	-0.006	-1.847	-2.473	-0.0490	-1179.93	-23.387
		851.3	58.0	-0.008	-1.987	-2.660	-0.0458	-1224.64	-21.105
	玄武岩	815.4	29.7	0.005	-1.107	-1.482	-0.0499	-679.53	-22.874
		824.3	36.7	-0.001	-1.461	-1.955	-0.0532	-903.83	-24.609
		833.6	44.1	-0.004	-1.707	-2.285	-0.0519	-1126.81	-25.572
		841.7	50.5	-0.010	-2.127	-2.847	-0.0564	-1348.46	-26.727
		851.3	58.0	-0.017	-2.578	-3.451	-0.0595	-1612.70	-27.793

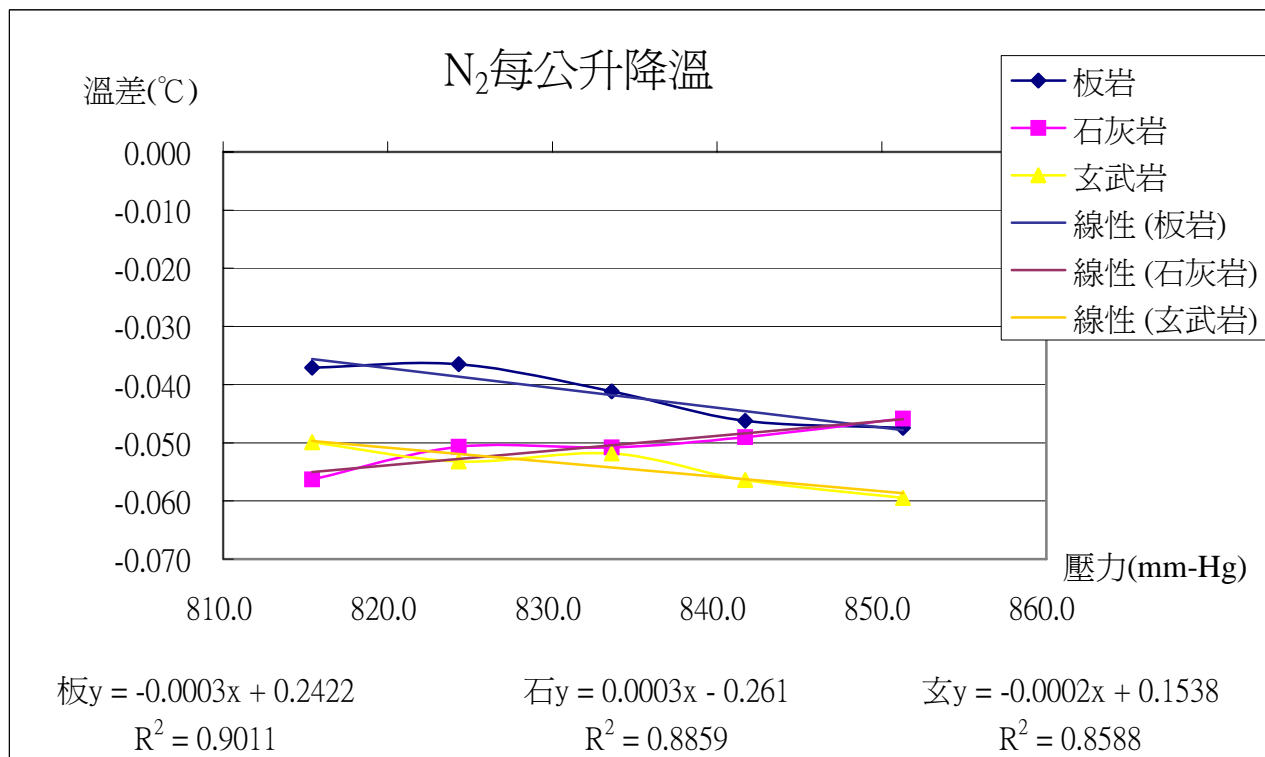
因顧慮到安全問題，無法使氣體壓力加大。然而，在地底下岩層中氣體的壓力必定非常巨大，造成的降溫效果會更明顯。

四、數據分析

根據以上之數據，可得到以下圖表。



圖表(二)



圖表(三)

在附圖一的鑽井圖發現:在 130 公尺至 80 公尺間，水溫有明顯降低。
推測那正是絕熱膨脹造成明顯降溫的區塊。

以下是數據比較:

以 CO₂ 流過板岩爲例:

$$\begin{aligned} \text{比例放大後降溫} &= -0.003 \times 3676.47 (50 \text{ 公尺壓力差}) + 0.2289 \\ &= -0.874041 \end{aligned}$$

模型演算含氣量(理論每公噸冷泉所含氣體重量)

$$\begin{aligned} &= (\text{實際降溫} / \text{按壓力比例放大後降溫}) \times (1 \text{ 噸} / \text{系統水量}) \times \{ \text{分子量} / (\text{公升} / \text{莫耳}) \} \\ &= (4 / 0.874041) \times (1000000 / 350) \times (44 / 25) \\ &= 23012.97733 (\text{克} / \text{每公噸}) \end{aligned}$$

其他情形則以相同計算，得到:

板 岩對 CO₂: 23012.97733(克/每公噸)

石灰岩對 CO₂: 16759.27914(克/每公噸)

玄武岩對 CO₂: 17622.65392(克/每公噸)

板 岩對 N₂: 14870.90774(克/每公噸)

石灰岩對 N₂: 因爲溫度不降反升，判定是實驗誤差，故捨去數據

玄武岩對 N₂: 22012.26496(克/每公噸)

各數據與探勘實際含氣量 2500(克/每公噸)比較，差了將近十倍。

柒、實驗討論

- 一、因顧慮到安全性，沒有使用甲烷氣，但依據資料顯示甲烷的比熱比氮氣和二氧化碳都大很多，據推測造成的降溫會是數倍以上。請參閱參考資料。
- 二、爲了減少變因，採取同樣顆粒大小做實驗，但顆粒大小亦有可能影響水溫改變。將再試著探討。
- 三、對於實驗的結果何以與實際情形不相符合，筆者推斷有兩個原因。

(一)地岩石與水的混合比例並不如筆者所預期。

(二)實驗的誤差：

很明顯的，據當地實際情形推測，每單位體積熱量所帶走之熱量，較筆者之實驗裝置之氣體所帶走的要少。依據實際探勘的結果，發現當地所冒出之氣體乃是以微小氣泡所呈現，長時間作用而成，與筆者實驗時所使用之急劇冒出的大氣泡不符合，而氣泡的大小，與達到熱平恆之速度是絕對相關，故這也是造成實驗結果的原因之一。針對此問題，筆者找到一種從水族館買的打泡器，可使氣泡變小，均勻上升，使用此裝置或許可使實驗更準確。

捌、結論

在經過一連串實驗後，可推測冷泉產生的機制：

- 一、絕大多數的冷泉產生時都伴隨著大量氣體，因此推斷泉水在地底與岩石間隙儲存的壓縮氣體混合，再湧出至地面期間，因為壓力減小而產生絕熱膨脹效應，使水溫降低。碳酸泉質的冷泉，氣體主要由二氧化碳所組成；硫磺泉質的冷泉，則由甲烷或其他氣體組成。
- 二、由先前實驗可知，酸性水質與碳酸鹽類反應所造成的降溫不明顯，不是冷泉的主因，但反應生成的氣體可能被壓縮而產生絕熱膨脹（如第一點所述）的效果。
- 三、如實驗(一)中酸和碳酸鹽作用生成 CO₂，在化學上為吸熱反應，故石灰岩溶蝕洞中的地下水溫度都偏低，此點和大崗山冷泉泉源在大崗山中的石灰岩洞經斷層裂隙流入山腳的「大崗山飯店」，據飯店老板說夏天水量大，溫度反倒較低，此點是否因為夏天酸性雨水滲入加速蝕洞中碳酸鹽分解，而使溫度降的較多，留待下一次建立模型再配合採集求証。
- 四、第三點也說明，冷泉如果來自高位的溶蝕長期作用則可因化學反應使泉源溫度變低，但此種冷泉通常溫度不會太低（如大崗山冷泉）。

玖、未來展望

在得到更多的且精確的數據後，筆者希望能夠建立一個模型，進一步推估地下泉源深度、溫度，以及其他的性質。此外，這個模型更可用於教學方面，使人更容易了解、體會冷泉的生成機制，揭開以往冷泉神秘的一面。

拾、參考資料及其他

各種氣體的比熱：	N ₂	29.124 J/mol K
	CO ₂	37.135 J/mol K
	CH ₄	157.3 J/mol K

絕熱膨脹公式：由於絕熱， $dq = 0$

$$\text{故 } \Delta S = \int \frac{dq}{T} = 0$$

$$\begin{aligned} \text{但 } \Delta S &= \int \frac{C_p}{T} dT - \int V \alpha dP \\ &= n \bar{C}_p \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - n \bar{V} \alpha (P_2 - P_1) \end{aligned}$$

台灣各地的冷泉，依據泉質大致可分為硫磺與碳酸兩種：

硫磺質：三芝（臺北縣）、龜山（桃園縣）、石城谷（南投縣）、北港溪（南投縣）、向竹（高雄縣）、寶來（高雄縣）

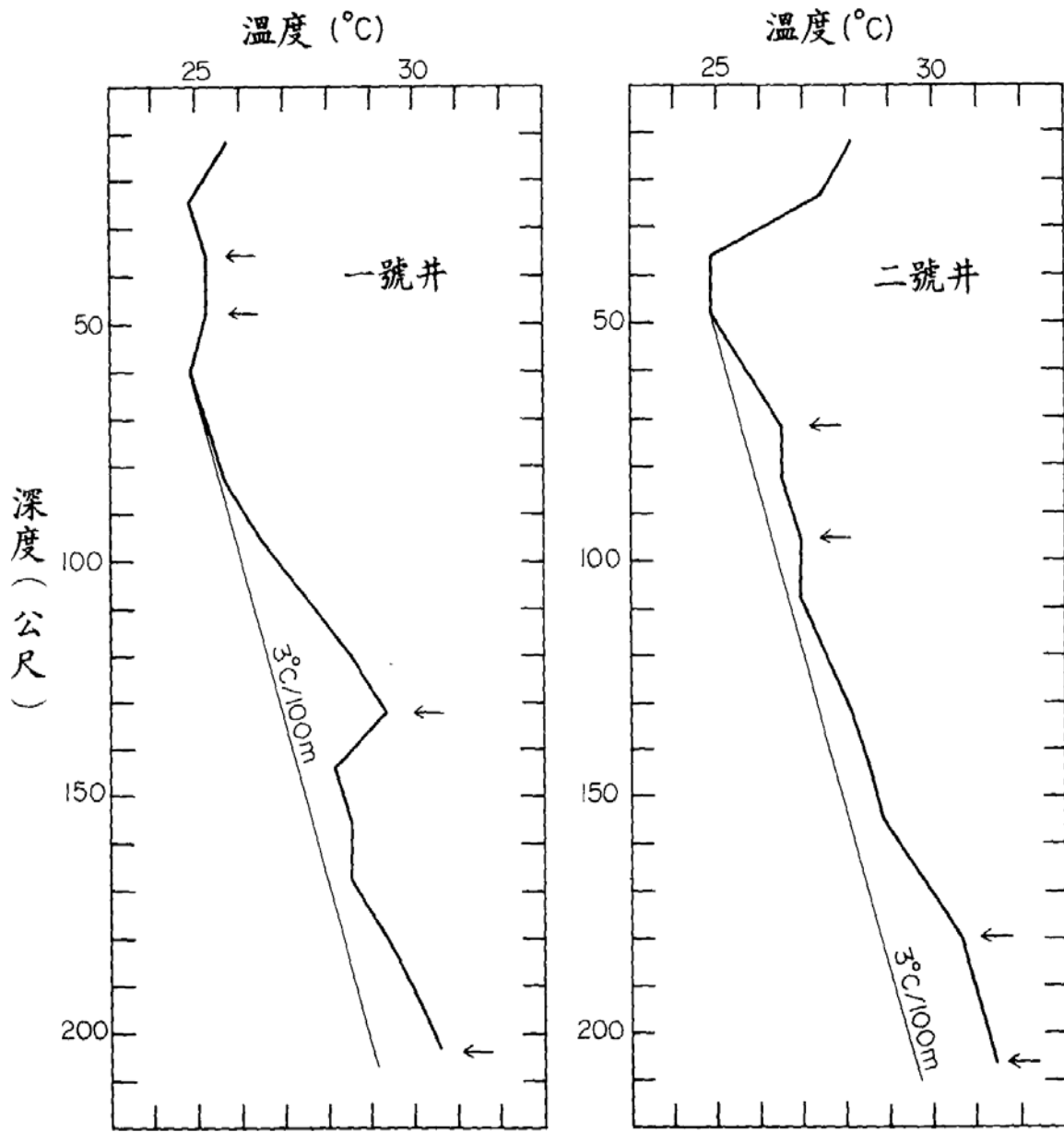
碳酸質：北埔（新竹縣）、竹山（南投縣）、**大崗山**（高雄縣）、**蘇澳**（宜蘭縣）

（其中**粗體字**表泉量為中量以上）

根據以往的調查結果：蘇澳冷泉的溫度為 22°C，pH 值約在 5.0 左右，所含的 Na^+ K^+ Mg^{2+} Fe^{2+} Cl^- HCO_3^- SiO_2 等，均比一般溪水高出許多（表一），地質主要為沖積層，板岩、砂質板岩、大理岩、片岩及少數的砂岩。其中所含二氧化碳來源可能是地下深處高溫變質過程中碳酸鹽類分解與火成岩體本身所釋放出來，另外，變質岩中的碳質物氧化也可提供部分二氧化碳。

資料來源：

- 1.台灣溫泉探勘服務網 www.twem.idv.tw
- 2.卓靜哲 物理化學 三民書局
- 3.陳肇夏 蘇澳冷泉的調查研究
經濟部中央地質調查所彙刊 第十三號



附圖一 蘇澳冷泉一、二號井溫度曲線，箭頭所示為主要出水之處。

附表一 蘇澳冷泉水之化學分析結果（濃度單位：毫克／公升）

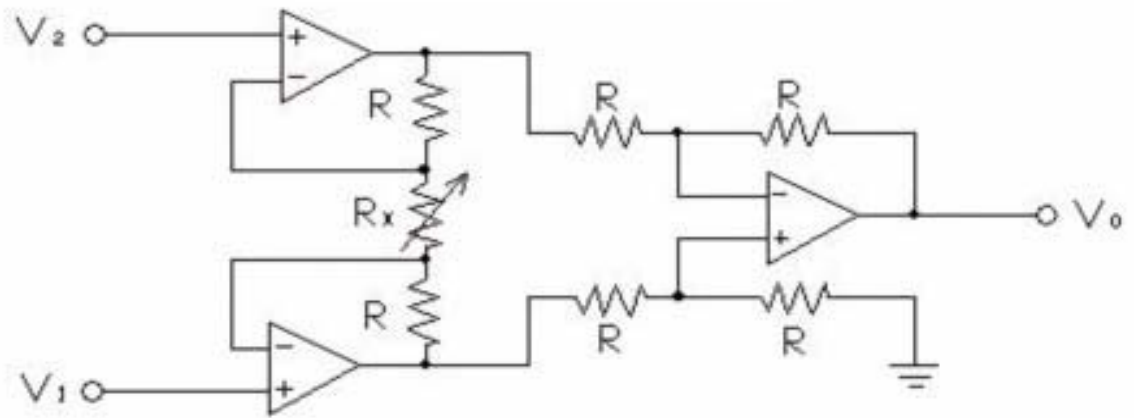
冷泉編號	1	2	3	4	5	6	溪水
地 點	廢汽水廠 南側浴池	男公共 浴池	女公共 浴池	阿里史 公共浴池	廢水池	鐵路南側 公共浴池	武荖坑溪 小支流(D)
採樣日期	73.11.9	66年	73.11.9	73.11.9	73.11.9	73.11.9	67年
溫度(°C)	22	22	22	22	22	22	25
pH	5.0	5.2	5.0	4.9	5.1	4.9	7.4
Na ⁺	19	14	19	13	20	10	4.7
K ⁺	0.55	0.4	0.53	0.54	0.68	0.43	0.3
Ca ⁺⁺	18	15	17	12	19	7.6	20
Mg ⁺⁺	6.8	5.6	6.9	4.7	7.5	3.4	1.0
Al ⁺⁺⁺	<0.1	—	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.0
Fe ⁺⁺	5.8	—	5.6	1.6	5.9	1.4	0.04
Cl ⁻	10	9.7	12	9.8	11	9.9	5.5
HCO ₃ ⁻	125	102	115	78	129	46	33
SO ₄ ⁻	2	25	8	3	3	7	39
B	<1	0.3	<1	<1	<1	<1	—
SiO ₂	21	20	19	18	19	14	10
推定來源 溫度(°C)	65.5	64	62	60	62	51	—

附表二 蘇澳冷泉區鑽井水樣化學分析結果（濃度單位：毫克／公升）

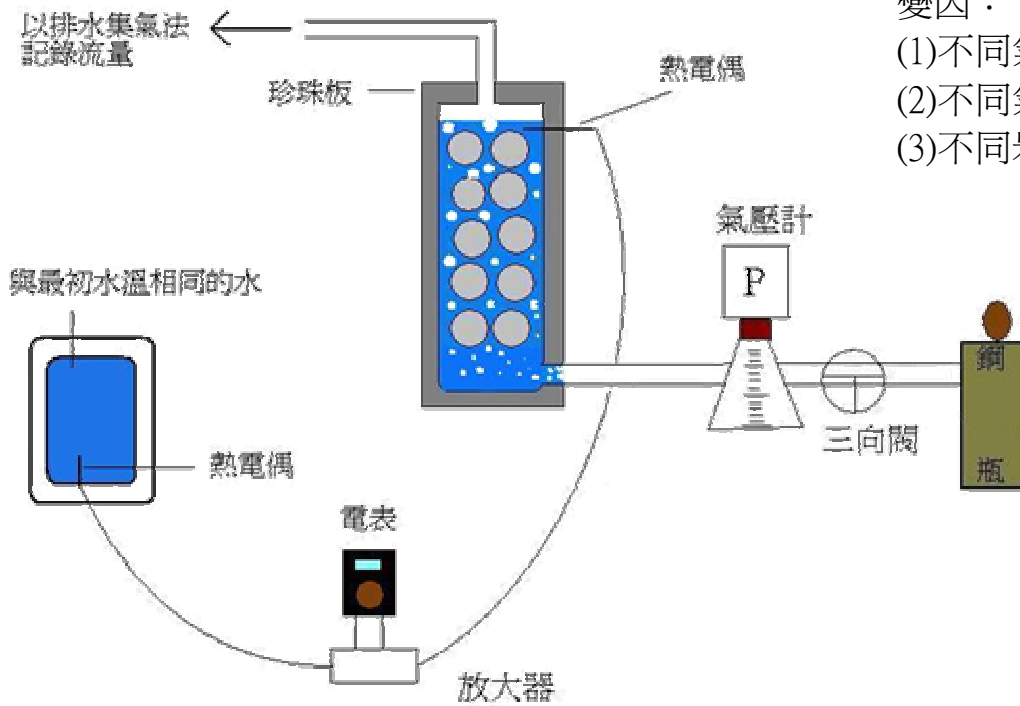
	一 號 井		二 號 井		1-5 號冷泉水 平均值
pH	6.8	6.5	6.0	6.0	5.0
Na ⁺	2110	2080	448	357	17.0
K ⁺	23	23	7.6	6.0	0.54
Ca ⁺⁺	62.0	65.5	70.5	61.5	16.2
Mg ⁺⁺	93.5	94.0	37.5	31.0	6.3
Fe ⁺⁺	15.5	15.0	11.6	11.6	4.7
HCO ₃ ⁻	5250	5360	1530	1220	110
SO ₄ ⁼	3	2	8	9	4
SiO ₂	36	40	34	33	19.4
Br ⁻	2.1	2.4	0.9	0.8	—
Cl ⁻	564	538	67	56	10.5
Gas/H ₂ O wt. %	0.25	0.25	0.15	0.15	—
CO ₂ vol. %	99.9	99.95	99.9	99.95	—
H ₂ S vol. %	0.1	0.05	0.1	0.05	—
出水量 (ton/hr)	9	9	34	13	—
推定溫度(°C)	87	92	85	84	63
井口水溫(°C)	27	27	24	24	22
井底溫度(°C)	30.6	30.6	31.4	31.4	—

以上之圖與二表格取自經濟部中央地質調查所彙刊第十三號—蘇澳冷泉

(附圖二) 訊號放大線路圖



(附圖三) 泉水流動模擬裝

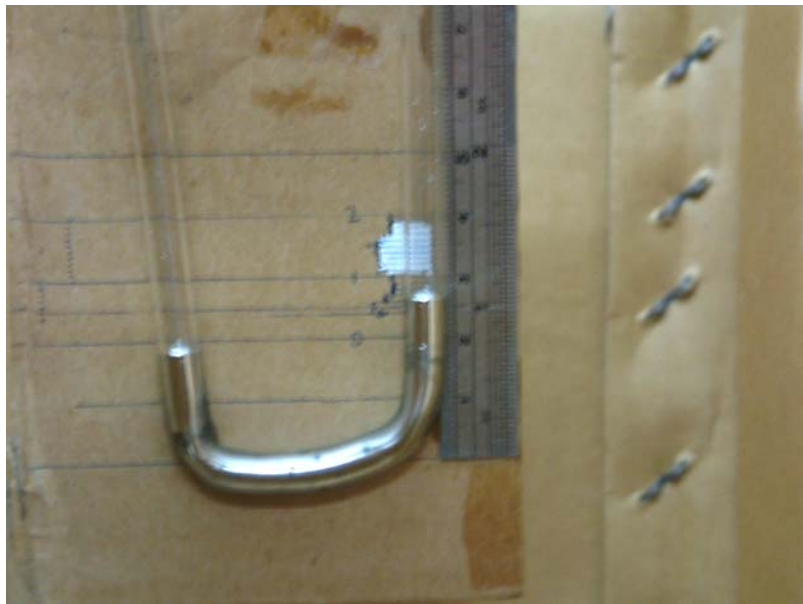


變因：

- (1) 不同氣體
- (2) 不同氣體流速(壓力)
- (3) 不同岩石



照片(一)所有的實驗裝置



照片(二)自製水銀氣壓計



照片(三)模擬管路



照片(四)大崗山冷泉飯店探勘採樣



照片(五)量測泉水的 pH 值



照片(六)量測泉水的溫度



照片(七)向竹林冷泉

評語

040504 高中組地球科學科 第三名

台灣冷泉的實驗室模擬

本作品對冷泉的降溫機制有獨到的見解，但資料分析與原始目的略有差距。