

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 四重溪溫泉之產狀與冷水混入機制 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 98-2116-M-041-002-  
執行期間：98年08月01日至99年07月31日  
執行單位：嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所

計畫主持人：陳文福

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：王仁亨

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 10 月 02 日

# 四重溪溫泉之產狀與冷水混入機制

陳文福

嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所

## 摘要

四重溪溫泉區位於屏東縣，是台灣最南端的一處天然溫泉。本區原有溫泉露頭，因溫泉井抽用過度，目前已無湧泉，截至 2010 年，水位已降至地面下 75m 深。溫泉含水層之水位下降，可能造成地面水及淺層地下水之滲入，使溫泉水成份改變。本研究之目的在於釐清本區溫泉水是否有淡化的趨勢，經由地面水、淺層地下水、溫泉水之採樣與化學分析，並配合溫泉井之導電度監測數據，探討四重溪溫泉之產狀與冷水混入之機制，以作為溫泉資源管理之依據。

結果顯示，四重溪溫泉井深度淺於 150m 者因受到淺層地下水的混入，導電度有降低的現象。本區溫泉水的主要離子組成為碳酸氫鈉，佔約 95% 以上，地面水及淺層地下水離子組成類似，皆為碳酸氫鈣鎂。因淺層地下水混入，估計混合比例，原溫泉水約佔 48-53%，相當於原溫泉水受到地面水混入一半而成。公共浴室井的導電度連續監測顯示，2007 年至 2009 年，溫泉井水位及導電度皆有下降的趨勢，水位從井口下 40m、降至約 70m，導電度從約 2000  $\mu$  S/cm、降至平均約 1200  $\mu$  S/cm。其原因應為溫泉含水層水位下降，造成地面水及淺層地下水滲入。

關鍵字：溫泉、四重溪、產狀、水質

## 一、前言

四重溪溫泉區位於屏東縣，四重溪與大梅溪匯流河谷之西北側河階上，鄰近的地形高區在西北及西方，是台灣最南端的一處天然溫泉。本區原有一處溫泉露頭，但因溫泉井抽用過度，溫泉水位降低，目前已無湧泉（陸島工程，2004；李和祥，2004；陳文福等，2010）。截至 2008 年的統計，四重溪溫泉區共有溫泉井

21 口，分布於南北約 600m、東西約 600m 的區域內，溫泉井之間的距離平均約 50 至 100m、最近者可達 20m，溫泉井深度最深約 550m、最淺約 100m(表 1 及圖 1)。

本區近 10 年來溫泉的抽用量超過天然補注量，溫泉水位日漸下降。以公共浴室為例，2000 年時位於此浴室旁的溫泉露頭尚有自湧的溫泉水，2002 年時水位已降至地面下 20m、湧泉消失，至 2007 年水位為地面下 40m、2008 年為 60m、2009 年為 70m、2010 年已接近 80m 深，平均每年下降達 10m (圖 2)。

前人調查顯示(工業技術研究院能源與資源研究所，2000)，四重溪溫泉舊的湧泉及新鑿的深井(井深大於 200m)溫泉水導電度約 2100-2300  $\mu$  S/cm，碳酸氫根濃度約 1350mg/l，pH 為 7.6、溫度為 50 至 61、屬碳酸氫鈉泉。但是 150m 的淺井，其溫泉水導電度只有 1075  $\mu$  S/cm，碳酸氫根離子濃度只有深井的一半(表 2)。四重溪溫泉區鄰近四重溪及大梅溪，地面水入滲至河床礫石層及淺層的風化帶，可能使淺層的地下水水質變淡。深層的溫泉水水位續下降，是否使淺層地下水往深處移動，造成本區溫泉水水質淡化？因本區溫泉的碳酸氫根濃度高，洗浴時有明顯的柔滑感，如果地下水混入，使總溶解固體濃度及碳酸氫根濃度降低，溫泉水質淡化，嚴重影響本區溫泉產業的發展。國外之溫泉區及地熱區，經過多年抽用，溫泉水位及水質皆有明顯的變化，造成產業衝擊(Glover and Mroczek, 2009)。

本研究之目的在於釐清溫泉水是否有淡化的趨勢，經由地面水、淺層地下水、溫泉水之採樣與化學分析，並配合溫泉井之導電度監測數據，探討四重溪溫泉之產狀與冷水混入之機制，以作為溫泉資源管理之依據。

## 二、研究方法

研究方法包括一次較全面性的普查，針對地面水、淺層地下水及溫泉水，調查的項目有：座標、井深、導電度、水溫、pH、氧化還原電位等。地面水調查共有 5 點，在大梅溪有 3 點，分別為上、中及下游各 1，靠近溫泉區的四重溪河

水 2 點 (表 4 及圖 1)。附近有水權的地下水井約有 20 餘口，調查較接近溫泉區的水井 5 口，井深約 13-60m (表 1 及圖 1)。21 口溫泉井中，詳細調查及採樣的井有 13 口 (表 4)。

現地檢測項目有導電度、水溫、pH、氧化還原電位等 (表 3)。溫泉井及地下水井都裝有抽水機，採樣時打開抽水機電源，抽水約 15 分鐘後，於出水口量測水質參數，每 5 分鐘記錄導電度、水溫、pH 及氧化還原電位，待其數值穩定後 ( $\pm 5\%$ )，將水樣裝瓶、並放冰桶冷藏。本研究使用之儀器為德國 WTW EC/pH 型，可同時量測上述水質參數。儀器之校正，導電度使用 1440  $\mu\text{S}/\text{cm}$  之標準液，pH 使用 7.0 及 10.0 之兩點校正，氧化還原電位使用 280mV 標準液，溫度則與標準溫度計比對。

導電度值隨著溫度上升而增加，因此國際慣例上，都校正為 25 時之導電度。沒有校正前的導電度稱為「視導電度」(apparent conductivity)，校正後的稱為「比導電度」(specific conductivity)。如果在高溫時量測的「視導電度」，可用以下公式校正為「比導電度」：

$$EC = EC_m / (1 + 0.019(t - 25))$$

EC 比電導度； $EC_m$  視電導度；t 測量時之水溫

本研究的導電度值，都為比導電度值。

抽水後量測的導電度，為井內出水段之水質混合的結果，若要反應出井內垂直的變化，需進行導電度井測。導電度井測儀器為美國 In-Situ 公司的 Troll-200 型，可同時自記水位、水溫及導電度三項。儀器的量測範圍及精度，溫度範圍 -20 - 80、準確度 0.1、解析度 0.01；水壓範圍 0 - 100m、準確度 0.25%、解析度 0.005%；導電度範圍 5 - 100000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、準確度 0.5%、解析度 0.1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。井測的施測方法，每間隔 3-5m 測量一點數據，每點停留至少 2min，因每測量點同時有水壓數據，參考當時的靜水位，即可換算該井深的導電度。量測時由上往下及由下往上、各量一次。

本研究於公共浴室溫泉井之出水口，設有一導電度連續監測儀器，監測頻率

為半小時一筆數據，儀器為美國 Schaevitz，另設有溫度感測器，可將視導電度校正為比導電度。導電度範圍 5 - 10000  $\mu$  S/cm、準確度 0.5%、解析度 1  $\mu$  S/cm。此口井在井下也設有水位計，以監測水位之變化（陳文福等，2010）。

實驗室水質化驗方法如表 3，皆依據環保署公告方法（NIEA）或是國際慣用之標準方法（APHA 美國公共健康協會）。主要陰離子如氯及硫酸根以離子層析法化驗，碳酸氫根、鈣及鎂離子以滴定法，鈉及鉀離子為光度計法。

### 三、四重溪溫泉之產狀

本地區出露的岩層為中新世的石門層（陳文山，1985，1992；鄭力瑋等，2006），或稱為牡丹層之一部份（宋國城，1998）。岩性為砂頁互層，岩層走向為北東、北西或近南北向，以中至高角度向東或西傾斜為主（圖 3）。此地層為晚中新世大陸斜坡的沉積，以泥層為主，其中的砂岩為水道沉積。因岩層已受到強烈擠壓，故其較堅硬的砂岩，可能產生許多破裂帶，提供溫泉流動的通道。

大梅斷層通過本溫泉區，此一斷層主要沿著大梅溪河谷附近，出露於大梅溪的中上游段東側靠近河谷邊，岩層擾動劇烈，位態變動大，斷層帶寬約 8-10 公尺，呈現斷層泥及摩擦角礫，在大梅溪與四重溪會流口處的四重溪南岸，也有寬達十餘公尺的斷層泥及角礫帶。大梅斷層及其衍生的破裂帶，應該也是四重溪溫泉自然補注與循環的重要通道（圖 3）。

大地電磁法的地電阻剖面顯示在深度 100 - 400m 處有一水平的破碎頁岩及含離子濃度較高的熱水層，其電阻值較低，可能是區域的溫泉儲集層（圖 4）。分布於剖面西側約 400m 寬的破裂帶 - 即大梅斷層之破裂帶，推測應是溫泉的來源，由深處達 1200m 以下的地層往上流動。溫泉流至約 400 - 500m 深度時向東側有水平流動，目前本區的溫泉開發多集中於西側，東側可越過大梅溪及四重溪的東岸，若此低電阻值的地層可代表溫泉儲集層，則本區的東側尚有大面積未開發的溫泉蘊藏（陸島工程顧問，2004）。

溫泉井之海拔標高大都在 50 - 75m 之間，以北邊的大山農場較高、南邊新

龜山旅館較低，推測區域的地面水及淺層地下水流應為西北向東南流，大梅溪及四重溪在本溫泉區的東側及南側，向西南最後流入台灣海峽。本區溫泉的來源應在北側的里龍山，沿著大梅斷層及大梅溪溪谷，地面水往深處滲入，一般地溫梯度約 2-3 /100m，因此深入地面下 2000m 處應可達 70-75 ，之後溫泉水再沿著破裂帶往上流，於四重溪溫泉區湧出地面，往上流動時，溫度漸降至約 60 (圖 5)。

#### 四、水質空間分布與變化

四重溪溫泉水的導電度大約為 1390-2480  $\mu$  S/cm (圖 6)。位於溫泉區中心的公共浴室，導電度約 1983  $\mu$  S/cm。；全區最高者為縣府監測井，導電度達 2480  $\mu$  S/cm，位於溫泉區之南側。

導電度分布剖面顯示，較深層的溫泉水導電度較高、淺層的水較低(圖 6)。本研究採樣的四重溪河水導電度約 290  $\mu$  S/cm，環保署的四重溪溪水監測數據(圖 7)，2000-2009 年比導電度大約為 211-550  $\mu$  S/cm，平均約為 345  $\mu$  S/cm。淺層地下水導電度約 430  $\mu$  S/cm，溫泉井中最淺的 11 號井(深度為 100m)導電度約 1390  $\mu$  S/cm，最深的第 13 號井(縣府監測井)比導電度約 2480  $\mu$  S/cm。此現象反應出四重溪的溫泉來源，應由下方往上流動，淺層的溫泉水與地下水相混，因此導電度變低，此推論與地質背景及大地電磁法的結果一致。

本研究施測的三口導電度井測結果如圖 8，也顯示淺層的溫泉水較淡。露天池溫泉井的深度 40-50 處，導電度為 1000-1300  $\mu$  S/cm，比抽水混合的導電度 1883  $\mu$  S/cm 要小；大山溫泉井深度 20-40m 處，導電度為 1000-1600  $\mu$  S/cm，抽出溫泉水為 1722  $\mu$  S/cm；縣一井只有最上層 20-25m 處導電度較小，1400-2300  $\mu$  S/cm，可能因此井的濾管段位於較深(大於 300m)。

四重溪溫泉水的主要離子組成以碳酸氫鈉為主，兩者之比例佔約 95% 以上，氯離子濃度約 13-28mg/l、硫酸根離子大都小於 6mg/l、鈣離子 1-6mg/l、鎂離子小

於 1.5mg/l、鉀離子小於 19mg/l (表 5 及圖 9)。溫泉水之導電度高低差別，乃因為其中的碳酸氫鈉濃度不同，其它離子的濃度變化不大。

地面水離子組成則以碳酸氫鈣鎂為主，其中碳酸氫根佔陰離子的比例約 60-80%，鈣、鎂、鈉離子各佔陽離子比例約 40、30、20%。地面水往下游時，除了導電度增加外，水中的鈉及碳酸氫根的比例也都增加了。

假設低導電度之溫泉水乃由高導電度溫泉水與地面水混合而成，則可依其離子濃度推算其混合比例。假設軍用井 (1390  $\mu$  S/cm) 為縣一井 (2480  $\mu$  S/cm) 與大梅溪中游 (350  $\mu$  S/cm) 混合而成，則依不同濃度推算的混合比例如表 6。原溫泉水混入的比例約 6-108%，因為微量元素濃度小，所以稍有變化，影響推算甚大，應較不合理。以導電度、碳酸氫根及鈉離子推算之混合比例，原溫泉水約佔 48-53%，相當於原溫泉水與地面水各一半混合而成。此結果可能表示 2007 年 9 月時，較淺的溫泉井 (深度小於 100m) 已有地面水或淺層之地下水混入。例如軍用井於 9-11 月之比導電度都偏低、約 1350-1453  $\mu$  S/cm (表 7)。

公共浴室井 2007-2009 年的導電度連續監測，呈現明顯的降低趨勢(圖 10)，2007-2008 年上半年的比導電度較高，大約 1600 - 2000 $\mu$ S/cm，但短期間的變化幅度很大，最低可到 1100 - 1200 $\mu$ S/cm。2008 年下半年導電度漸變低，除了在 7 月及 9 月各有一次變高，導電度已降至 1200 - 1300 $\mu$ S/cm。至 2009 年導電度仍然大都低於 1400 $\mu$ S/cm 以下 (表 8)。

工業技術研究院 2002 年於公共浴室的水樣，導電度約為 2182 $\mu$ S/cm，至 2007 年 10 月本研究採樣，比導電度為 1978 $\mu$ S/cm，2008 年約為 1300-1980 $\mu$ S/cm，2009 年約 1000-1400 $\mu$ S/cm，有明顯的降低，導電度 2002 年至 2009 年約降低 10-50%(表 9)。

公共浴室溫泉水的組成也以碳酸氫根及鈉離子為主，兩者之比例佔約 98% 以上，氯離子濃度約 10-20mg/l、硫酸根離子大都小於 4mg/l、鈣離子 2-4mg/l、鎂離子小於 0.4mg/l、鉀離子小於 5mg/l (表 9)。溫泉水之導電度高低差別，也是因為其中的碳酸氫鈉濃度不同，其它離子的濃度變化並不大。此導電度之降低，可

能也是因為地面水混入的結果。假設中下游的地面水滲入地下，形成淺層地下水，因為深層溫泉水超抽，水壓下降，使淺層水混入溫泉水，因此溫泉水的比導電度下降。公共浴室溫泉井在抽用過程中，因地層裂縫發達，水壓降低時，上層的地下水很可能混入，所以造成導電度的變低，因此在「公共浴室」井的導電度歷線中有短期變化劇烈的現象（圖 10）。

從四重溪溫泉產狀及主要離子組成，可解釋源頭區的地面水（北方的里龍山區）往下游深部流動時，水質的變化機制。地面水的水質為碳酸氫鈣鎂，往下滲流時，鈣鎂與地層產生離子交換，水中鈣鎂離子濃度降低，而鈉離子濃度升高。溫泉水之高濃度碳酸氫根的來源有二：（1）鈣鎂鈉離子交換時，因水中鈣鎂的濃度降低，會使地層中的碳酸鈣溶解，因此碳酸根及碳酸氫根濃度增加；（2）水中的硫酸鹽還原作用及地層中的有機碳降解，使水中碳酸氫根濃度增加。

## 五、結論

四重溪溫泉水的導電度大約為 1390-2480  $\mu$  S/cm、淺層地下水約 400-430  $\mu$  S/cm、河川水約 228-430  $\mu$  S/cm。淺層（100-150m 深）的溫泉井因受到淺層地下水的混入，導電度有降低的現象。

本區溫泉水的主要離子組成為碳酸氫鈉，佔約 95%以上，地面水及淺層地下水離子組成類似，皆為碳酸氫鈣鎂。若淺層地下水混入，將造成離子成份改變。以軍用井為例，使用導電度、碳酸氫根及鈉離子推算之混合比例，原溫泉水約佔 48-53%，相當於原溫泉水受到地面水混入一半而成。

公共浴室井的導電度連續監測顯示，2007 年至 2009 年，溫泉井水位及導電度皆有下降的趨勢，水位從井口下 40m、降至約 70m，導電度從約 2000  $\mu$  S/cm、降至平均約 1200  $\mu$  S/cm。其原因應為溫泉含水層水位下降，造成地面水及淺層地下水滲入。



## 誌謝

感謝嘉南藥理科技大學溫泉中心李孫榮主任及多位老師的協助，水利署保育事業組及屏東縣政府水利課，多位主管機關四重溪溫泉業管人員之協助。

## 參考文獻

工業技術研究院能源與資源研究所，2000，台灣溫泉水資源之調查及開發利用（1/4），經濟部水資源局出版，共 145 頁。

工業技術研究院能源與資源研究所，2002，台灣溫泉水資源之調查及開發利用（3/4），經濟部水資源局出版，共 235 頁。

李和祥，2004，「溫泉資源調查分析之研究 - 以四重溪與中崙溫泉為例」。成功大學資源工程系碩士論文。

宋國城，1998，「五萬分之一台灣地質圖幅說明書 - 恆春半島」，圖幅第六十九、七十和七十二號，經濟部中央地質調查所出版。

鄭力瑋、陳文山、黃能偉、顏一勤、楊志成、楊小青、陳勇全、宋時驊，2006，「活動斷層報告 - 恆春斷層」，經濟部中央地質調查所施政計畫報告。

陳文山，1985，「台灣南部恆春半島之地質」。國立台灣大學地質研究所碩士論文。共 106 頁。

陳文山，1992，「恆春半島墾丁層層位及時代的檢討」，經濟部中央地質調查所特刊，第 6 期，135-142 頁。

陳文福、陳尉平、李孫榮、楊介良（2010）四重溪溫泉之水位與水溫變化：台灣水利，第 58 卷，第 2 期，第 95-107 頁。

陸島工程顧問股份有限公司，2004，「屏東縣政府九十二年度四重溪溫泉資源探測與調查案」，屏東縣政府出版。

APHA, 1998. Standard methods for the examination of water and waste water, 20<sup>th</sup> ed., American Public Health Assoc., Washington, DC., 413-426.

Glover, R.B., Mroczek, E.K., 2009. Chemical changes in natural features and well discharges in response to production at Wairakei, New Zealand. Geothermics 38, 117-133.

## **The occurrence and cold water mixing of hot spring water in Szchungshi, southern Taiwan**

Hot spring recreation and tourism are valued and popular at the regional and national levels in Taiwan. The increasing hot spring water withdrawn through wells for recreation use is causing the depletion of hot spring water resources. The Szchungshi hot spring in southern Taiwan had lost its hot spring outcrop during a decade of hot water over exploitation by wells. As more and more wells were sunk, pressure and temperature of hot water dropped dramatically across much of the area. Water of hot spring comes from deeper aquifer with higher concentration of ion while groundwater is lower concentration in shallow aquifer. The drop of water pressure in deeper hot spring aquifer may cause leaky of shallower groundwater then mixing and changing the chemistry of hot spring water.

In this study we sample river water, groundwater and hot spring well water and determine their chemical compositions to understand the occurrence of hot spring and the mixing mechanism for those waters of different sources. We also install probes and data logger in PB well to monitor the electrical conductivity (EC), temperature and pressure of hot spring water.

Our results show that EC values of hot spring water in wells shallower than 150m are lower than the waters in deeper wells. The lower EC values should be caused by the leaky and mixing of shallower groundwater. The percentage of groundwater in the mixing hot spring water is about 47-52% by estimation of sodium bicarbonate concentration budget balance. In the PB well, the EC values were dropped from 2000 to 1200  $\mu$  S/cm while the water pressure declined from 40m to 70m deep under the well casing, during the period of 2007 to 2009.

Key words: hot spring, Szchungshi, occurrence, water chemistry

表 1 四重溪溫泉現有之溫泉井

編號	井名	馬達馬力 (HP)	井深 (m)	井管直徑 (英吋)	抽水管直徑 (英吋)	完工日期	備註
1.	公共浴室	10	300	6	2	2000	
2.	清泉溫泉山莊	10	300	6	2	2000	
3.	大山溫泉農場	10	300	6	2	2001	
4.	玉泉寺前	5	150	5	2	1999	
5.	瀑布前	5	200	5	2	1999	
6.	董先生	10	350	6	2	2000	
7.	新龜山別館	10	300	6	2	1999	
8.	景福山莊	10	400	8	2	2003	
9.	南台灣大飯店	5	200	5	2	1999	露天池邊
10.	茴香戀戀	15	360	8	2	2003	
11.	南台灣大飯店	5	100	5	2	1999	軍方用井
12.	洺泉旅館	10	230	6	2	1999	
13.	縣府 1 號井		550	9	2	2008	
14.	南台灣大飯店	5	200	5	2	1999	
15.	董啟智	10	380	6	2	2000	
16.	董啟智	10	405	6	2	2000	
17.	四鼎溪賓館	10	400	6	2	2000	
18.	玉泉寺	10	300	6	2	2000	
19.	縣府 3 號井		500	9	2	2008	
20.	溫泉大旅社	10	300	6	2	1999	
21.	緣鄉溫泉餐廳	10	350	8	2	2001	
22.	張萬	5	25	8	2	2000	
23.	王榮	5	20	8	2	2000	
24.	台糖	5	13	8	2	2000	
25.	林桶	5	20	8	2	2000	
26.	甲全	5	60	8	2	2000	

部份資料來源：陸島工程顧問(2004)；編號 1-21 為溫泉井；22-26 為地下水井。

表 2 前人研究之四重溪溫泉化學成份

pH	溫度	比導電度	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣	鎂	鈉	鉀	二氧化矽	數據來源
		μ S/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
7.6	61	2099	1352	20.9	5.43	6.5	1.5	473	4.4	30	1
	62	2182	1338	13.5	3.13	4	<1	529	4.16	16.9	2
	50	2303	1336	28.4	5.15	2.15	<1	573	2.99	10.1	3
	34	1075	650	18.2	24.6	25	9.21	192	3.64	13.8	4

1. 工業技術研究院能源與資源研究所 (2000), 公共浴室湧泉。
2. 工業技術研究院能源與資源研究所 (2002), 公共浴室溫泉井 (井深 300m)。
3. 工業技術研究院能源與資源研究所 (2002), 新龜山旅館溫泉井 (井深 300m)。
4. 陸島工程顧問股份有限公司 (2004), 探勘井井深 150m、座標 (233687、2442425)。

表 3 水質化驗項目及方法

項	目	檢 驗 方 法	偵測極限	單位
1	T(水溫)：溫度計法	現地檢測 NIEA W217.50 A	靈敏度 0.1	
2	pH：電極法	現地檢測 NIEA W424.50 A	靈敏度 0.01	
3	ORP：電極法	現地檢測 APHA(20th) 4500	靈敏度 1	mV
4	EC：導電度計法	現地檢測 NIEA W203.51 B	靈敏度 0.01	μS/cm
5	Alkalinity：滴定法	NIEA W449.00 B	15	mg/l
6	Cl <sup>-</sup> ：	NIEA W415.51 B	0.50	mg/l
7	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ：離子層析法		0.50	mg/l
8	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N：		0.05	mg/l
9	Ca：EDTA 滴定法	APHA(20th) 3500-Ca B	0.50	mg/l
10	Mg：EDTA 滴定法	NIEA W208.50 A	0.30	mg/l
11	Na：燄光光度計法	APHA(19th) 3500-Na D	0.50	mg/l
12	K：燄光光度計法	APHA(19th) 3500-K D	0.45	mg/l

NIEA 為台灣環保署公告之標準檢測方法；APHA 為美國公共健康協會公告之標準檢測方法。

表 4 溫泉水、地面水與地下水之基本水質

編號	井名	水溫 ( )	電導度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25 )	pH	氧化還原 電位 ( mV )
1.	公共浴室	51.0	1983	7.92	-70
2.	清泉	40.6	1723	8.04	-239
3.	大山	42.5	1722	8.07	-290
4.	玉泉寺	38.8	1898	7.71	-231
5.	瀑布前	48.0	1762	7.72	-104
6.	董先生	52.4	1892	7.52	-279
7.	新龜山	41.2	1715	7.05	-135
8.	景福	48.1	1735	7.35	-278
9.	露天	57.0	1883	7.64	-256
10.	茴香	42.5	1784	8.28	-199
11.	軍用	45.3	1390	7.90	-347
12.	洺泉	43.2	1718	7.85	-240
13.	縣一	27.6	2480	9.10	-16
14.	大梅溪上游	28.3	228	7.94	180
15.	大梅溪中游	27.5	350	7.84	85
16.	大梅溪下游	29.5	370	7.75	135
17.	四重溪上游	28.5	410	7.20	75
18.	四重溪下游	28.1	430	7.52	145
19.	張萬	25.5	415	7.38	77
20.	王榮	25.5	409	7.15	62
21.	台糖	25.3	406	7.21	54
22.	林桶	25.9	402	6.95	55
23.	甲全	28.4	1441	7.44	-80

1.採樣及量測時間：編號 1-18 為 2007 年 9 月；編號 19-23 為 2010 年 5 月。

2.編號 1-13 為溫泉井之水樣；14-17 為地面水；19-23 為地下水井。

表 5 溫泉水與地面水之主要離子濃度

地點	地點	導電度 μS/cm	碳酸氫根 mg/l	氯離子 mg/l	硫酸根 mg/l	鈣離子 mg/l	鎂離子 mg/l	鈉離子 mg/l	鉀離子 mg/l
1.	公共浴室	1983	1223	20.2	<0.50	3.0	0.4	435	2.8
2.	清泉	1723	1010	18.0	2.1	3.5	<0.30	432	4.8
3.	大山	1722	1005	23.2	4.6	1.7	0.4	430	3.2
4.	玉泉寺	1898	1183	13.3	1.3	3.1	<0.30	426	2.6
5.	瀑布前	1762	1150	27.2	<0.50	1.9	0.4	417	2.4
6.	董先生	1892	1195	28.2	1.1	6.0	0.6	447	5.4
7.	新龜山	1715	1100	25.9	2.6	2.2	0.4	415	2.6
8.	景福	1735	1050	28.2	1.1	6.0	0.6	420	5.4
9.	露天	1883	1100	25.1	2.6	2.1	<0.30	461	2.6
10.	茴香	1784	1060	23.2	4.6	1.7	<0.30	430	3.2
11.	軍用	1390	765	21.2	6.0	2.1	0.4	327	1.9
12.	洺泉	1718	1050	18.0	2.1	3.5	<0.30	432	4.8
13.	縣一	2480	1400	25.0	<0.50	1.3	1.5	604	18.5
14.	大梅溪上	228	85	7.32	21.6	19.1	11.3	9.0	0.11
15.	大梅溪中	350	170	10.5	25.4	22.8	15.4	17.0	0.78
16.	大梅溪下	370	175	12.5	24.7	21.2	16.4	21.6	0.80
17.	四重溪	410	190	12.0	29.5	30.2	21.7	15.6	0.43
18.	四重溪	430	195	12.4	44.7	38.2	22.7	25.6	0.98
19.	張萬	415	180	12.2	30.5	32.3	19.8	17.6	0.25
20.	王榮	409	185	12.0	31.5	34.6	18.5	17.4	0.65
21.	台糖	406	193	13.5	36.9	31.9	24.6	18.6	0.34
22.	林桶	402	187	11.7	28.7	33.3	22.4	17.1	0.78
23.	甲全	1441	825	23.2	7.6	3.2	4.4	357	2.9

採樣時間及基本性質見表 4

表 6 混合比例推算

	原溫泉水	地面水	混合水	原溫泉水比例
導電度	2480	350	1390	49%
碳酸氫根	1400	170	765	48%
氯離子	25	10.5	21.2	74%
硫酸根	0.1	25.4	6	77%
鈣離子	1.3	22.8	2.1	96%
鎂離子	1.5	15.4	0.4	108%
鈉離子	604	17	327	53%
鉀離子	18.5	0.78	1.9	6%

備注：假設溫泉水為縣一井、地面水為大梅溪中游水、混合水為軍用井

表 7 軍用井 2007 年 9-11 月比導電度等數據

日期	水位 (m)	水溫 ( )	導電度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	氧化還原 電位( mV )
2007.09.12	37.3	45.3	1390	7.92	-347
2007.09.20	26.6	35.7	1453	8.00	49.4
2007.10.25	35.3	47.3	1349	7.93	-280
2007.11.26	34.5	46.5	1350	7.95	-315

水位為井口下深度；水溫為抽出井口時之溫度。

表 8 公共浴室井 2007-2009 年之導電度等數據

日期	水位 (m)	水溫 ( )	比導電度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	氧化還原 電位 (mV)
2007.09.12	13	42.1	1983	7.92	-41
2007.09.20	34	41.4	1972	7.86	85
2007.10.25	38	51.2	1978	7.85	-82
2007.11.26	40	41.9	1998	7.95	90
2007.12.28	42	55.5	1850	7.61	-56
2008.01.24	47	51.8	1387	7.53	-48
2008.02.27	29	51.5	1981	7.89	13
2008.04.14	50	62.6	1862	7.92	-67
2009.03.29	51	60.5	1847	7.81	-135
2009.08.05	55	60.5	1328	7.55	-95
2009.09.10	59	60.5	1257	7.89	-175
2009.10.02	48	60.5	1314	7.43	-183
2009.11.03	41	60.5	1190	7.65	-114
2009.12.15	55	60.5	1295	7.78	-84

數據為人工量測、水位為距井口下。

表 9 公共浴室溫泉井之歷年水質

年月日	導電度 $\mu\text{S}/\text{cm}$	碳酸氫根 mg/l	氯離子 mg/l	硫酸根 mg/l	鈣離子 mg/l	鎂離子 mg/l	鈉離子 mg/l	鉀離 子 mg/l	備注
20020715	2182	1338	13.5	3.13	4.0	0.1	529	4.16	1
20071025	1978	1227	14.04	<0.50	2.53	0.32	470	4.27	
20080124	1387	811	12.33	1.13	2.91	0.33	336	2.67	
20080227	1981	1223	20.15	<0.50	3.05	0.37	435	2.82	
20080414	1862	1183	13.33	1.28	3.08	0.33	426	2.61	
20090329	1847	1124	14.87	<0.50	2.79	0.39	439	2.61	
20091215	1295	750	10.15	1.48	2.50	0.15	320	2.78	

1. 工業技術研究院能源與資源研究所 (2002)



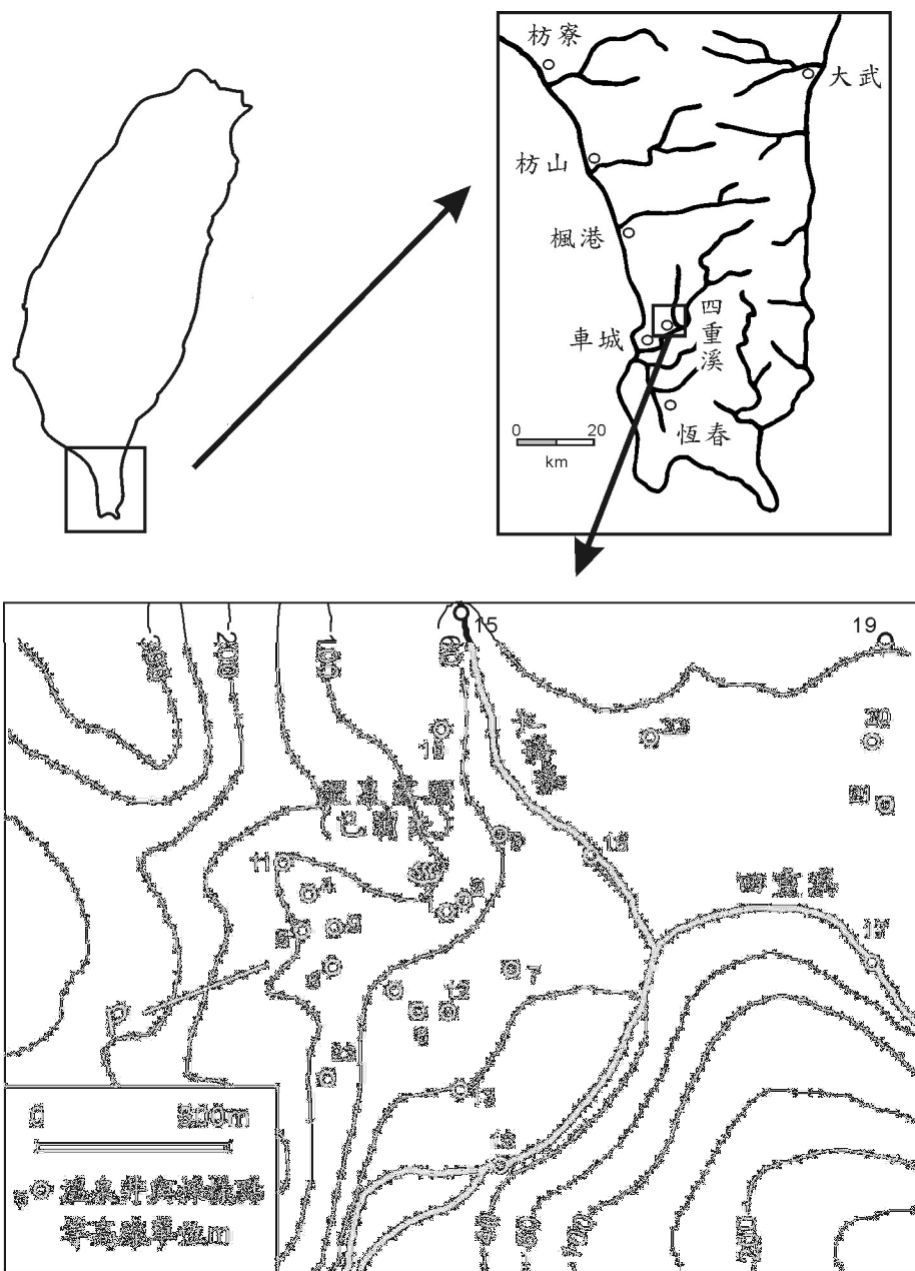


圖 1 本研究之溫泉井與採樣點位置

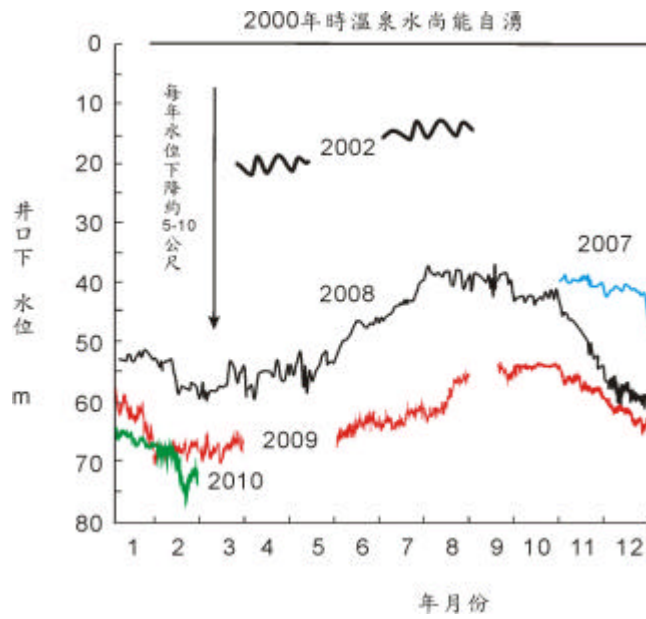


圖 2 公共浴室溫泉井水位持續下降 (2002 年數據：工研院，2002)

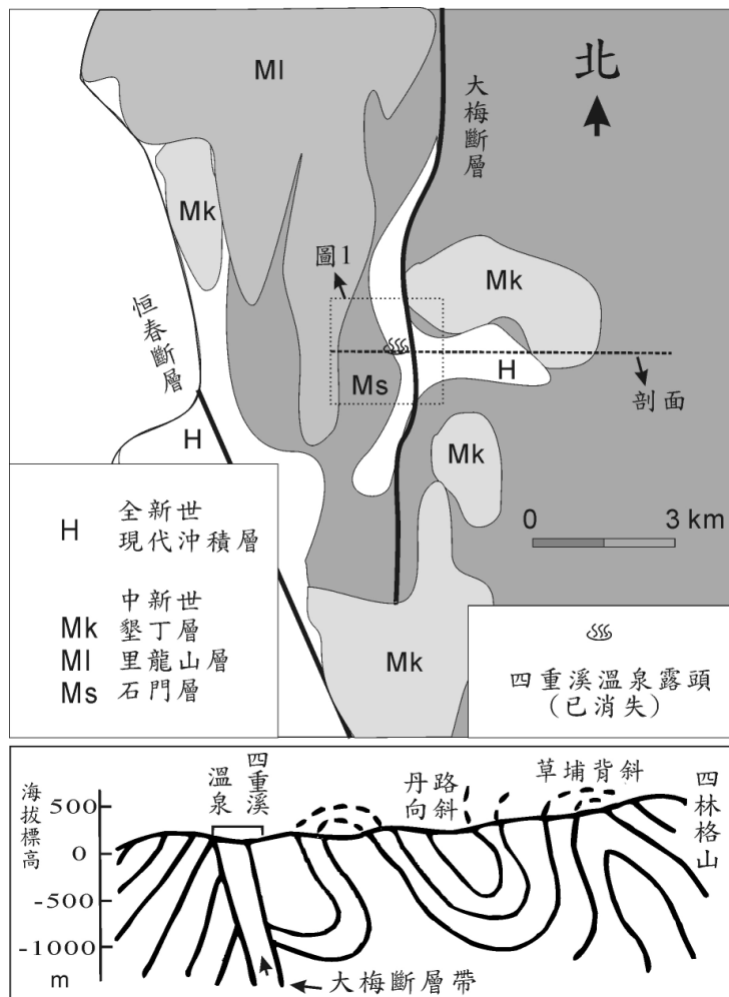


圖 3 四重溪溫泉區附近之地質圖及剖面 (修改自陳文山，1992)

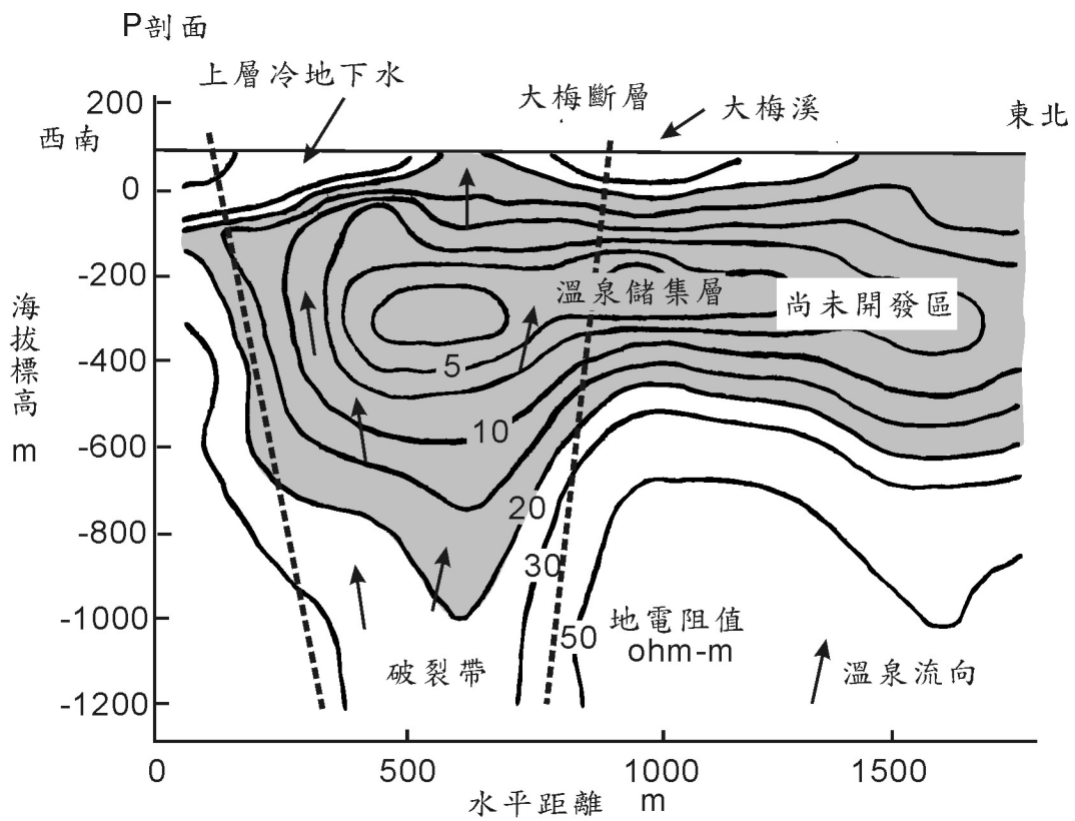


圖 4 地電阻剖面 (資料來源：陸島工程顧問，2004)

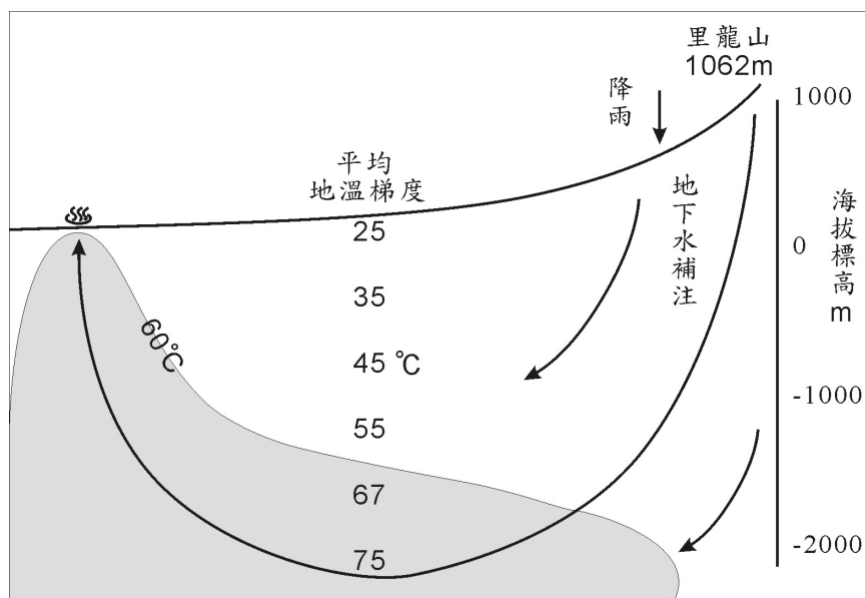


圖 5 四重溪溫泉之循環模式 (沿大梅溪之南北剖面)

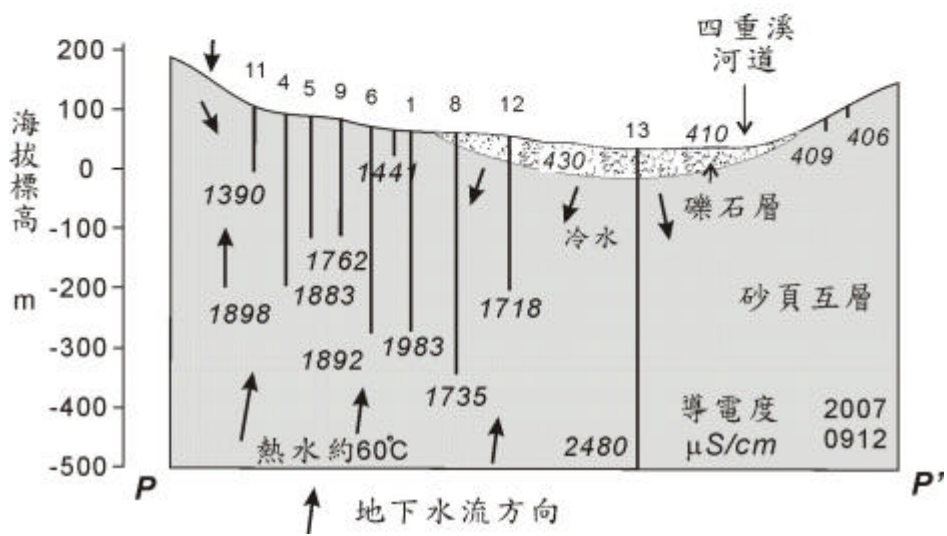
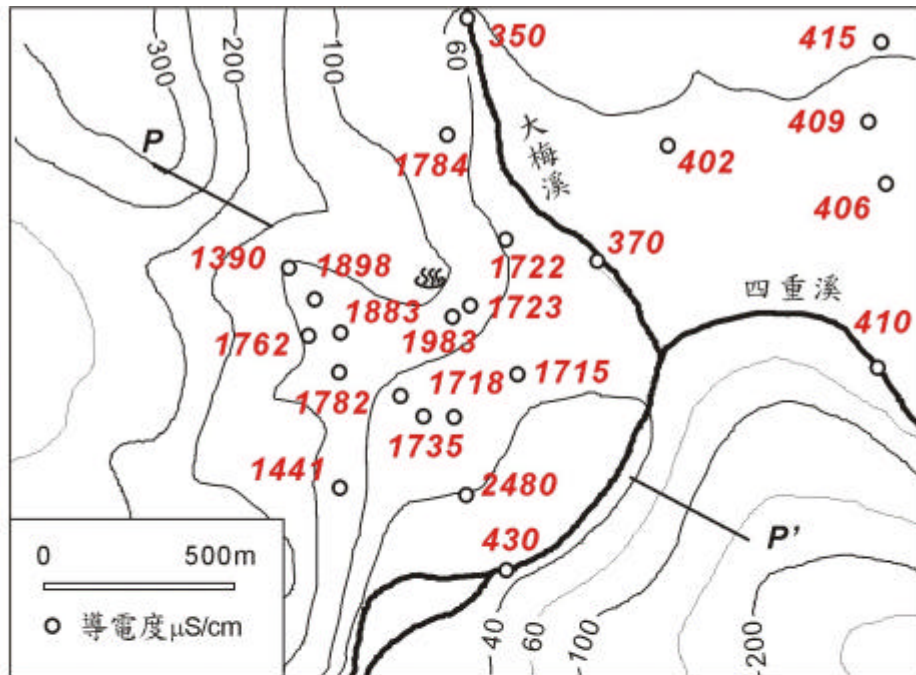


圖 6 比導電度之平面分布 (2007 年 9 月 12 日)

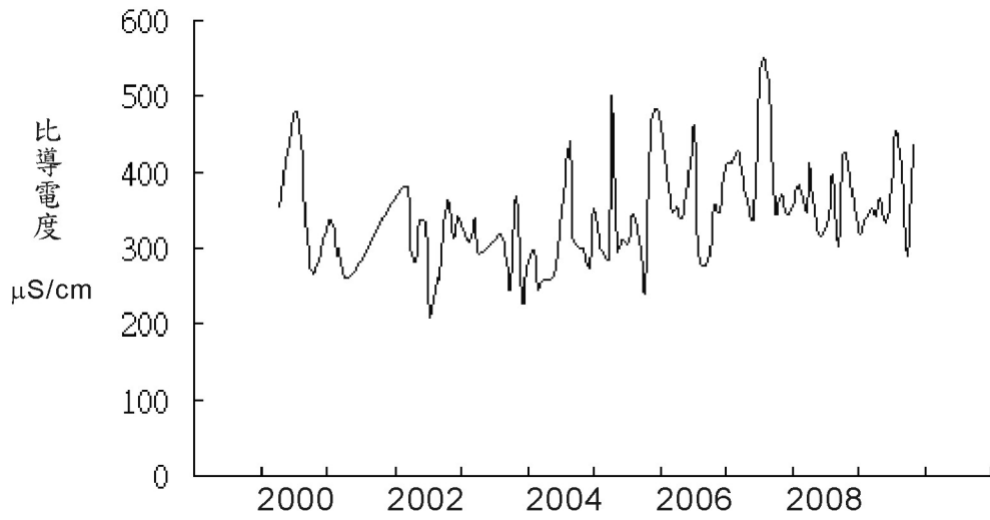


圖 7 四重溪溪水之比導電度（數據：環保署河川監測網）

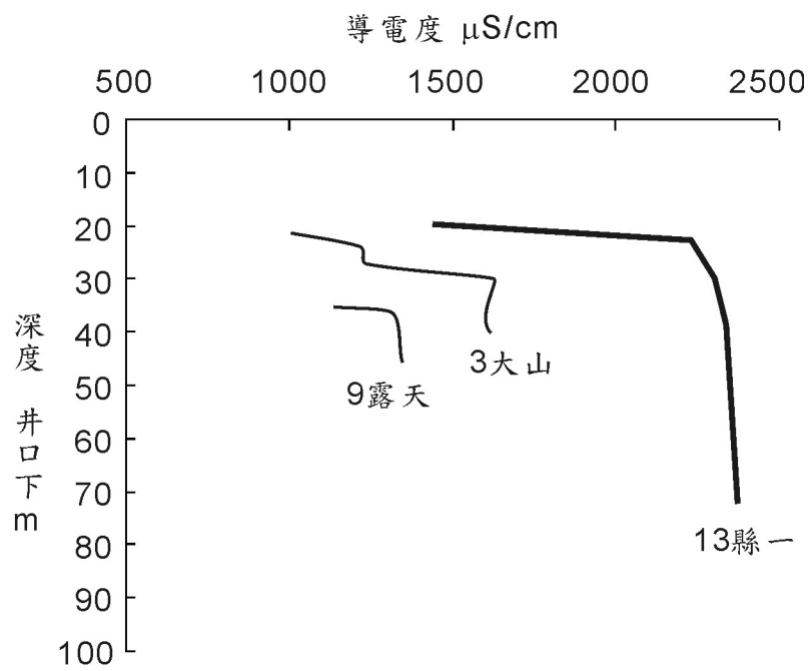


圖 8 三口溫泉井之導電度井測結果（2010 年 7 月）

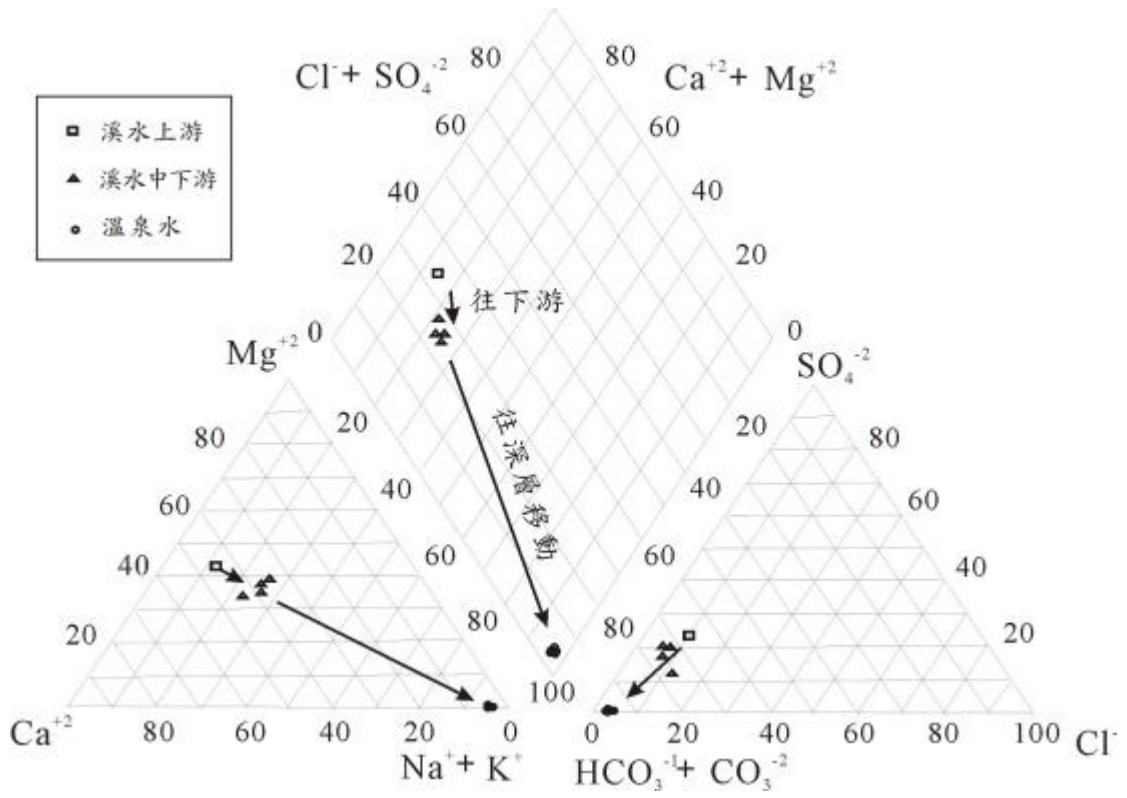


圖 9 地面水與溫泉水之主要離子成份比例

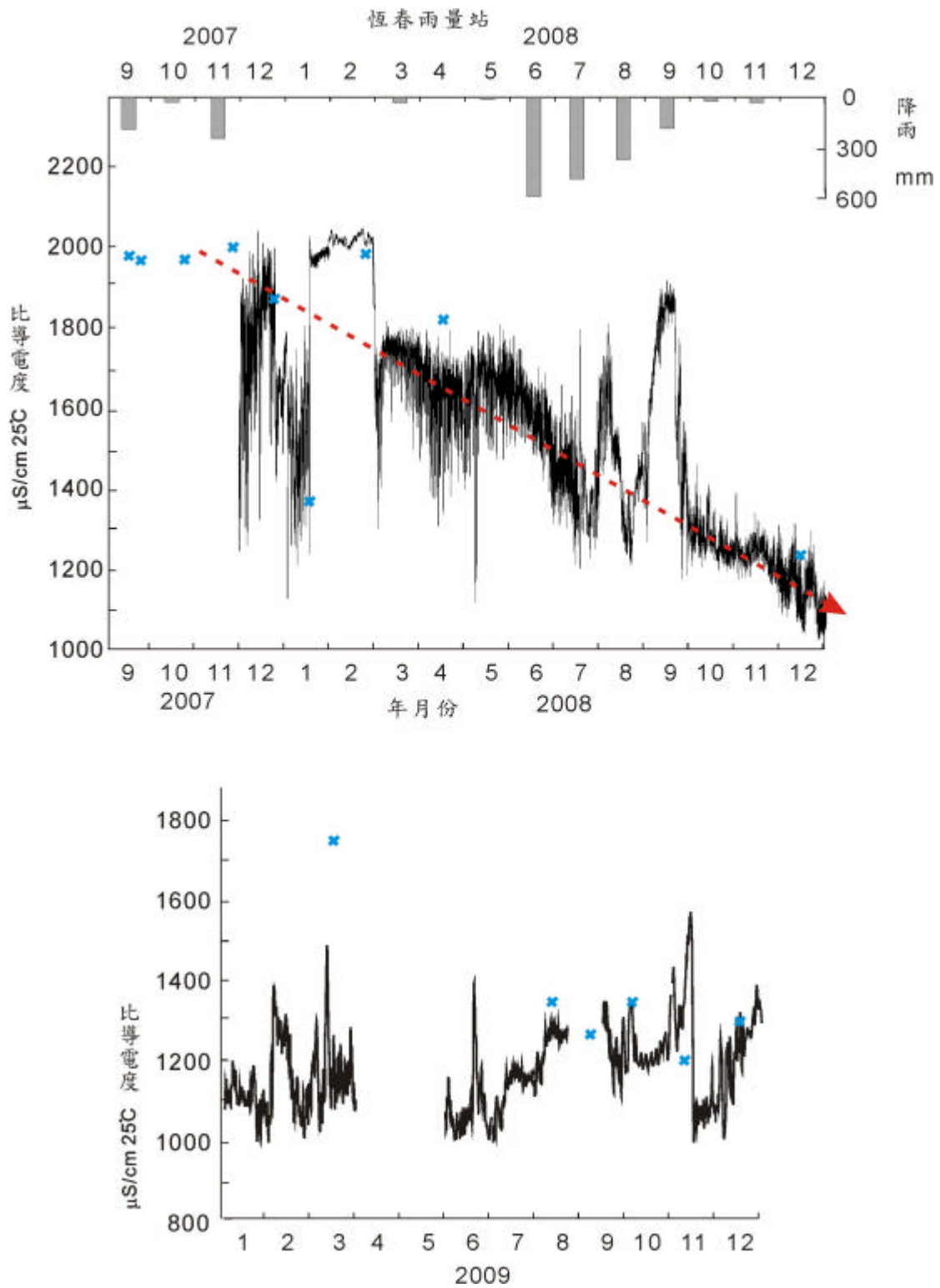


圖 10 公共浴室比導電度連續監測結果 (打叉處為現地水樣量測之數值)

無研發成果推廣資料



98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：陳文福		計畫編號：98-2116-M-041-002-					
計畫名稱：四重溪溫泉之產狀與冷水混入機制							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	提供溫泉管理單位保育政策之參考
--	-----------------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	



# 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

四重溪溫泉水質淡化問題，首度提出研究成果，可供溫泉資源保育政策之擬定