

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

礁溪溫泉之生成模式與觀測 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 97-2116-M-041-001-
執行期間：97年08月01日至98年07月31日
執行單位：嘉南藥理科技大學觀光事業管理系

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：林琪達

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 98 年 10 月 29 日

礁溪溫泉之生成模式與觀測

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC - 97 - 2116 - M - 041 - 001

執行期間：97年8月1日至98年7月31日

計畫主持人：陳文福

共同主持人：

計畫參與人員： 林琪達

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所

中 華 民 國 98 年 10 月 29 日

中文摘要

礁溪溫泉是台灣重要的溫泉區之一，溫泉區日漸發展，溫泉旅館日漸增加，溫泉水資源的使用與管理，面臨極大的挑戰。研究指出本區溫泉已經超抽，並導致溫泉分布範圍縮小與溫度降低。然而，因缺乏長期水位與水溫的監測數據，本區溫泉的成因、是否已過度抽用？仍無法定論。本研究藉由井溫剖面的量測，水文地質鑽探資料綜合整理，提出一較具體的溫泉生成模式。並設立四個監測站，監測水位及水溫，以瞭解溫泉水資源的長期變化。

礁溪溫泉的來源為西測坡地下的四稜砂岩，熱水由砂岩裂隙湧上，進入上覆的沖積層後，向下游呈水平流動。熱水分布呈西北 - 東南長、東北 - 西南窄的長條形，軸長約 1.5km、寬約 1.0km。此沖積層在溫泉中上游厚度約 20 - 100m，往東南變厚可達 200m。由上往下約可分三層，上下以礫石層為主、中間夾中細砂層。

礁溪溫泉的主要用水層次為地面下 20 - 50m 深，此層之水位由西北往東南漸次降低。水位變動與降雨有明顯的相關，2008 年 9 月降雨超過 1000mm，水位上升即達 1 - 6m。沖積層的溫度上下兩層較冷、中段較熱，推測因中段為主要抽水層次，人為抽水致使熱水較快補充。此主要熱水層之水溫由西北往東南漸次降低，源頭約 65℃、中游 55℃、下游 45℃。

2007 年 8 月至 2009 年 1 月、共一年半的監測，並沒有發現水位（一年期）或水溫降低；相反的、太子井及國小井的水溫都有微升，推測溫泉井大量的抽熱水，對淺部地層有加熱作用。

關鍵詞：礁溪溫泉、水位、水溫、監測

The occurrence and movement of hot spring water in Jiaosi, Northeastern Taiwan

Abstract

The Jiaosi hot spring is one of the most important hot spring destinations in Taiwan. The hot spring water resource meet great challenge for an increasing development of hot spring resorts in decades. Studies showed that hot water had been extracted in excess of its recharge to the aquifer and the overpumping had caused the hot water front retreated and temperature declined. However, there is no long-term monitoring data to prove the time and magnitude of those overpumping events. For understanding the occurrence and movement of hot spring waters, we compile a hydrogeological conceptual model from driller's logs and by measuring the temperature profile in wells. We also install probes in four wells to monitor the water levels and temperatures.

The quartzite in west hillside is the source of hot spring waters which flow upward along fractures and enter the horizontally unconsolidated sedimentary aquifer, then flow mainly to southeastern. There are three layers in the aquifer, with upper and lower layers of gravels and sand layer in the middle. Thickness of the aquifer is about 20-100m in the northwestern upflow area and over 200m in the downflow area. The hot waters distribute over the aquifer with a surface area of about $1.5 \times 1.0 \text{ km}^2$.

There is a significant correlation between water levels rise and rainfall intensity. In September of 2008, the water levels in hot spring wells raised for several meters while the rainfalls were over 1000mm. The temperature of the middle layer is higher than the upper and lower layers that indicate the middle layer has been pumped intensely. According to our data, we suggest that there is no hot water front retreated or temperature declined in the monitoring period of one and half year.

Keywords: Jiaosi hot spring, water level, temperature, monitoring

前 言

礁溪溫泉位於宜蘭平原之北側，是台灣重要的十八處溫泉區之一。礁溪溫泉的自然湧出量約 6000 - 8300cmd，溫泉區有超過 90 家的旅館，加上民宅井及農漁業灌溉井，溫泉井總數多達 2000 餘口，溫泉總使用量平日約 3000cmd 以上，但旺季假日則高達 16000cmd（吳永助，1973；工研院能資所，2000 - 2003；臺灣大學建築與城鄉發展基金會，2002）專家學者估計使用量可能已超過自然湧出量，判斷礁溪溫泉已屬於超抽地區（張智欽，2000；張寶堂，2004）。

研究指出本區溫泉可能已經超抽，導致溫泉分布範圍縮小及溫泉區邊緣之溫度下降（張智欽，2000）。溫泉分布範圍在 1974 年有 1.4km²，但至 1993 年縮小為 0.96km²，面積減少了 30%。溫泉分布之東南邊界 1989 年之水溫 47 - 49℃，但 1998 年降至 38℃ 以下。溫泉分布之邊緣地區溫度雖有明顯的降低，但是中央區應沒有變化。然而，礁溪溫泉區至今仍沒有水位、水溫及水質的連續監測資料，因此一些基本問題只有定性描述，缺乏明確的時間、地點及量化的數據。

本研究首度藉由四口試驗井中放置水溫及水位監測儀器，從 2007 年 8 月至 2009 年 1 月共約一年半，探討水位與降雨的關係、水位的年變化、溫度年變化、水位及水溫之空間分布，以提供本區溫泉水資源總量管制及永續利用之參考。

研究方法

為瞭解溫泉區之長期水位及水溫變化，需設立監測井。監測井以平均分布為佳，本研究選取湯圍、太子、國小及天隆四口。其中湯圍位於靠近溫泉源頭之上游、太子位於中游、天隆位於下游、國小井為冷熱水之邊界（圖 1）。其中前三口為第一河川局之觀測井，本身並無抽水，天隆井為飯店之溫泉井，常有抽水，必需去除抽水干擾，才能取得靜水位及地溫（陳文福等，2009）。長期監測項目為水溫與水壓，期間為 2007 年 8 月至 2009 年 1 月，監測頻率為半小時一筆數據。

四口井的地面高程約為 6 - 15m（海拔標高），井深 20 - 60m、靜水位約 1.5 - 6.08m（距井口），測棒放置深度約 10 - 17m 深（表 2）。湯圍井和太子井於 2007 年 8 - 10 月水位高過井口，呈自流狀態，監測期間在大雨過後也有自流的現象；國小井及天隆井並沒有自流的情況。

水壓及水溫監測使用儀器為美國 In-situ troll 500，水壓與溫度二合一自記式測棒。溫度量測範圍 -20 - 80℃、準確度 0.1℃、解析度 0.01℃；壓力量測範圍 20m 水壓、準確度 0.1%（相當於 2cm）、解析度 0.005%（1mm）。監測數據自記於測棒內，由人工定期連接電腦收取數據，同時進行數據確認。水溫確認方式為比對標準溫度計的讀數，誤差需在 0.1℃ 內，超過此值，需送回原廠校正。水壓確認方式，儀器的水位讀值與水位尺量測值比對，若誤差大於 2cm，需送回原廠校正。

溫泉井水溫剖面量測方法，使用 Troll 500 測棒，每間隔 2m 測量一點水溫數

據，每點停留至少 2min，因每點溫度同時有水壓數據，即可換算該井深的溫度。量測時由上往下及由下往上、各量一次。

地質背景與溫泉形成模式

礁溪溫泉位於宜蘭平原之北側山邊，地形崖線呈東北 - 西南走向，河流由西北往東南流。主要有三條河流，皆在平原與山區的交界帶形成沖積扇，其中以得子口溪最大，扇頂海拔標高約 40m，扇尾約 5 - 10m；十一股沖積扇及湯圍溪沖積扇則較小，但坡度較陡。礁溪溫泉的湧出即位於湯圍溪沖積扇與得子口沖積扇之交界，海拔標高約 15 - 20m。礁溪溫泉流出後、沿地面小溪溝往東南流，當地人稱為溫泉溝（圖 1）。地面溫泉露頭及溫泉井之水溫調查，顯示源頭區的泉溫最高可達 65℃、往下游降至 60 - 55℃，外圍一公里後降至 50℃ 以下（張智欽，2000；張寶堂，2004）。

本區出露的固結岩層以漸新世之四稜砂岩及乾溝層為主。四稜砂岩為厚層或塊狀白色中至極粗粒的石英砂岩、礫岩及硬頁岩，乾溝層則為硬頁岩或板岩夾薄至厚層泥質粉砂岩。溫泉露頭鄰近有兩條較大的斷層：磨碧潭山斷層，走向為西北 - 東南，位於礁溪溫泉的東北側；大礁溪斷層，走向東北 - 西南，位於礁溪溫泉的西側（黃鑑水、何信昌，1989；林朝宗，2000）。張寶堂（2004）於此兩斷層間四稜砂岩，發現許多的小斷層及破裂帶，其中五條斷層為西北 - 東南走向的正斷層，礁溪溫泉的水流通道，應即經由此廣大的破裂帶湧出、並進入上覆的沖積層中（圖 1）。

上覆之沖積層應為各溪流進入平原後形成之沖積扇、或山麓帶的崩積層，厚度不大於 150m，由西北往東南向、厚度增加（圖 1）。春和浴室鑽井深度約 275m（表 1），上覆沖積層只有約 20m 厚，深度 20m 以下為四稜砂岩，溫泉即由四稜砂岩之破裂帶湧出（工研院礦業研究所，1975）。經濟部中央地質調查所之湯圍鑽井（臺糖公司地下水中心，2000；工研院及臺糖公司，2003），沖積層可分為三段：上層 0 - 10m 為礫石層，中層 10 - 75m 為細砂層，下層 75 - 102m 為礫石層，下接 102 - 180m 為四稜砂岩（圖 1）。地調所另一口鑽井靠近太子飯店，井深約 170m，在約 150m 深度可能已達乾溝層。天隆井至二龍井之間，礫石已少、並有厚層泥層，分成兩層受壓含水層。

礁溪溫泉區的地電阻數據顯示（工研院能資所，1993），溫泉由深度 500m 之四稜砂岩、成柱狀垂直往上湧（圖 2）。推測溫泉分布大約為低於 20 ohm-m 等值線之範圍，推測應是溫泉水的溫度及離子濃度較高，使地電阻值較低（Ussher et al., 2000）。四稜砂岩的地電阻值約 40 - 120 ohm-m 之間，地電阻剖面 B 在四稜砂岩中有一高電阻分布，與斷層的地面位置接近，可能是磨碧潭山斷層（圖 2B）。高電阻值可能反應地面水入滲之孔道，其水質較淡且水溫較低，均會使電阻值偏高。

井溫剖面顯示，溫泉的源頭應在春和浴室，水溫最高約 65℃（圖 3）。往下

游、至福崇井水溫約 60 ；湯圍及太子井最高溫約 50 - 55 ，但井溫剖面為上下冷、中間熱。員山井（原編號 BH1）（工研院能資所，1993），距溫泉源頭東方約 600m 處，也呈上下冷、中間熱，溫度最高處為 70 - 80m 深，而淺於 70m 或深於 80m 處之溫度較低。

綜合現階段的資料，推測礁溪溫泉的源頭應在春和浴室附近，熱水應由深度超過 500m 的岩盤裂縫中向上湧出，部份湧出地面、部份進入沖積層（圖 4）。進入沖積層的熱水，夾於湯圍溝及得子口沖積扇兩地下水系統之間，溫泉被局限於一長條形之區域，由西北方向東南方流動，最遠可達奇立丹地區（圖 3 之第 8 號井），分布範圍長度約 1.5km、寬度約 1km（圖 3）。

熱水進入沖積層後，沿地層之水平面流動，向下游流動及擴散都以水平方向為主，因其上方及下方都是較冷的地層，所以形成上下冷而中間熱之現象。此現象因人為抽水而更明顯，本區有超過 90 家以上的旅館，大都自有溫泉井，井深約 20 - 50m。此含水層大量的抽水，有助於上游之熱水持續向此層流動，溫度最高的層次，應是水流最快的層次，在湯圍及太子井約在地面下 20m，在員山井約在地面下 75m（圖 4）。

此溫度高的熱水層雖因地層的熱傳導，熱量往上及下散出，但地層的熱傳導性並不高，降低溫度需很久的時間。試算熱水層向地面導熱的假設如圖 5，根據熱能公式（公式 1），假設熱水層的厚度 10m 溫度差 30（熱水 55、地面 25），地層為飽和含水的礫石及砂層、比熱 c 為 $2.0 \text{ kJ}/(\text{kg}\times)$ 、比重 $1900\text{kg}/\text{m}^3$ （Sugarawa and Yoshizawa, 1961; Woodside and Messmer, 1961; Robertson, 1988; Clauser and Huenges, 1995; Chen, 2008），此熱水層與地面溫度達平衡時，每 1m^2 面積之可放出熱能為 $1.14\times 10^6 \text{ kJ}$ 。

$$H = c \times dT \times M \quad \text{公式 1}$$

H 熱能（inner energy）單位 kJ （千焦耳）

c 地層之比熱（specific heat）單位 $\text{kJ}/(\text{kg}\times)$

dT 溫度差、單位

M 地層質量、單位 kg

根據熱流公式（公式 2），假設飽和含水的礫石及砂層熱導係數 k 為 $2.5 \text{ W}/(\text{m}\times)$ ，此熱水層距地面為 20m，因此每 1m^2 面積流出地面之熱流為 $3.75\times 10^{-3} \text{ kJ/s}$ 。

$$q = k \times A \times dT/dx \quad \text{公式 2}$$

k 熱導係數（thermal conductivity）單位 $\text{W}/(\text{m}\times)$

A 地層之面積、單位 m^2

dx 距離、單位 m

將熱能除以熱流量，推算出約需 3519 天、相當於 10 年才能將熱量完全導出。

水位歷線分析

礁溪溫泉區四口試驗井 2007 年 8 月至 2008 年 9 月之水位監測數據，以湯圍井的水位最高（13 - 16m 海拔標高），太子井次之（12 - 15m），國小井（4 - 8m）及天隆井（2 - 6m），依次降低（圖 6）。此水位高差反應出，溫泉水的水平流向，皆由湯圍井向東、東南及南方流動。2008 年 3 月（旱季）以湯圍井的水位最高、約海拔 12.9m，天隆井最低、約 2.9m。2008 年 10 月（雨季）也是以湯圍井的水位最高、天隆井最低（圖 7）。

依此四口井的水位分布，大致可推算溫泉水在地層中的平均流速。根據抽水試驗，此含水層的透水係數 K 約為 43.2 m/day（工研院及臺糖公司，2003），水位監測數據推算，水力梯度約為 0.04，根據達西定律（公式 3），算出溫泉水在地層中的流速約 1.73 m/day。

$$q = K \times dh/dL \quad \text{公式 3}$$

q 達西流速（Darcy velocity）單位 m/day

K 透水係數（hydraulic conductivity）單位 m/day

dh 水頭差、單位 m

dL 流徑長度、單位 m

將水位比對降雨記錄，發現降雨對此四口井的水位皆有明顯的影響。其中以國小井的影響最顯著，2008 年 9 月為研究期間降雨最多的月份，該月降雨使國小井水位從 3.5m 上升至 8.5m、數天內水位上升達 5m。同時期，天隆井水位也上升 3m，太子井上升 2m，湯圍井因故障沒有記錄（圖 6）。國小井位於得子口沖積扇之淺層自由含水層，可能因該沖積扇的集水面積較大、礫石地層導水性佳，河水容易補注入地下含水層，因此水位上升也較多。

分析日降雨量與水位之間的關係，以太子井為例，降雨與水位上升是當天立即反應的（圖 8）。2008 年 9 月降雨集中於兩個時段，9 - 15 日及 26 - 29 日，9 日的降雨量約 40mm，當天水位即上升 10cm。總計 9 - 15 日期間 6 天、水位共上升 1.5m，是 2008 年中上升最多的一次。同期天隆井也上升了 1.5m，國小井上升達 4.3m（圖 6）。

太子井的水位明顯受到鄰近井群的干擾，日干擾幅度約 50cm（圖 8）。2008 年 9 月的不降雨時段，如 3 - 8 日水位並沒有下降之趨勢，但 16 - 21 日水位有緩降，6 天期間水位共降約 50cm。此水位之緩降，應是受到鄰井抽水的影響，太子井周圍 50m 範圍內，至少有十口以上的溫泉井。因此也造成太子井有明顯的日循環，反應出旅館湯屋的營業規律，水位最高為早上 6 點、最低為下午 5 點，日循環的水位差為 50cm。週休二日的水位通常更低，日最低水位比平時更降約 50cm。

以太子井為例、降雨量與水位上升量有明顯的正相關（圖 9）。統計 2008 年 6 - 12 月降雨事件共 16 次（表 4），累積降雨量 50mm 以下，水位沒有上升，累積降雨量 50 - 150mm，可能有 0.3m 的水位上升，但因抽水干擾可達 0.5m，故短期變化不明顯。累積降雨量大於 150mm 以上，水位回升較明顯。2008 年最大的降雨時段為 9 月 9 日至 15 日，累積降雨量 586mm、水位回升量 1.5m。

雖然宜蘭地區幾乎全年有雨，但夏秋季的降雨仍遠大於冬春季的降雨，因此夏秋季的水位也明顯的較高。颱風期間之月降雨量常超過 250mm，旱季時月降雨約 50mm。湯圍及太子井一年的旱雨季水位落差約 1.5m，天隆井為 3m，國小井約 4m(圖 6)。湯圍及太子井的水位落差較小、而天隆井較大，原因可能有二：湯圍及太子井較靠近源頭區，熱水或溪水補注快，所以水位落差小；再者、天隆井較靠近市中心，溫泉旅館數量較多而且集中，集中抽用時，易形成水位沉降堆，因此水位落差大。

三口監測井 2007 至 2009 年同月份的水位差異並不大，就此三口井而言，並沒有明顯的超抽(圖 10)。太子井 2008 年 8 - 10 月的水位較低、約下降了 0.5 - 2m，但 11 - 12 月的水位差異不大。天隆井 2008 年 9 - 10 月的水位較高、約上升 0.5 - 1m，但 11 月至 1 月水位也差異不大。國小井 2008 年的水位有略低的趨勢，2008 年 11 - 12 月較低、約降 1m，可能因為 2008 年 11 月的降雨較少。整體而言，三口井在 2007 至 2008 年期間同月份的水位比較，有些井升高、也有些井降低，並沒有明顯的水位降低，雖然 2008 年的年雨量 2840mm，比 2007 年的 3110mm 略低(表 5)，但並沒有在此三口井中造成水位落差。

水溫歷線分析

三口井的長期水溫記錄(2007 年 10 月至 2009 年 1 月)如圖 11，水溫變化的幅度與年趨勢變化，三口井各不相同。太子井一年的水溫變化幅度約為 1 (最低 53.5、最高 54.5)，天隆井變化幅度最大、約達 6 (最低 37、最高 43)，國小井的變化也只有 1 (最低 23、最高 24)。

影響水溫變化的因素有地表氣溫、降雨入滲、地層熱流、人為抽水干擾等(圖 12)。地表氣溫的影響，隨著往地下深度增加而減少，本研究三口井的監測深度都在 10m 以下，地表氣溫的影響應不大。

降雨入滲對於短期(數天)溫度變化的影響是很顯著的。以太子井 2008 年 9 月為例(圖 13)，9 月初水溫由 54.7 緩升至 55，此溫度應為地層平衡時的溫度。9 日開始降雨，14 日的降雨量最高，此段時間山區豐沛的補注，造成溫泉含水層水壓升高，當水壓高過井口時，就有自噴現象。自噴時、來自濾管處的熱水，沿井管往上流，然後溢出井口，此時溫度監測所記錄到的溫度，並不是該點的地層溫度，而是下段熱水上湧時的溫度，記錄上、水溫突升至 56。然後在 2 小時內溫度下降至 54，低於地層溫度，可能因觀測點上方的雨水入滲或淺層地下水與熱水接觸，使溫度降低。再 4 天後、溫度再度升至 55.5，此溫度應為地層另次平衡的溫度。

降雨對水溫的影響至少有兩項：1.降雨補注使深層熱水湧出，因此雨季時的水溫可能較高；2.降雨滲入試驗井附近的地面下，此較冷的地下水使水溫降低。太子井觀測之降雨使水溫短期內降低，而且水溫變化呈日循環，顯示鄰井抽水，也致使淺地下水混入熱水，造成水溫降低。位於更下游的天隆井，9 月中的降雨

使水溫短暫下降約 0.8 。國小井的水溫影響較小，因為該水溫與雨水的溫度接近，9月初水溫 23.95 ，緩降至 9月底 23.80 。

地層熱流由高溫流向低溫，如果上游的熱源增加，監測點的溫度就會上升，反之溫度就會下降。太子井位於天隆的上源處，兩者溫差約 14 ，兩者的溫度變化也有關連性。例如，2008年1至4月間，兩井的溫度都呈持平狀態；5至6月間，太子井溫度上升，天隆井的溫度也上升；但太子井7月的下降、天隆井從7月下降至8月，兩井有相同的趨勢，但在幅度及時間上有些差異。

太子井接近源頭區，其溫度變化應與溫泉的湧出量(由四稜砂岩湧入沖積層)相關。湧出越多、總熱量就越多，太子井9至11月的溫度較高，此時期是雨季、降雨量也較多，應是山區的補注水壓增高，使溫泉的湧出量增加，因此溫度上升。2008年5-8月的水溫最低，可能與該段時期為溫泉旅遊的淡季，各家旅館的抽用量少，因抽水可迫使上游熱水補充，不抽水時因經由地層向地面熱傳導，便漸漸冷卻。再則5-8月為旱季、降雨較少，深部熱水湧入地層也較少。

人為抽水對天隆井的影響很大。天隆井營業旺季時抽水，但淡季時停抽，因此在水溫記錄上，抽水時期井內水溫升高、停抽時便慢慢冷卻，溫度相差達 4 - 6 (圖 14)。抽水時期，井內水是個熱源，以該監測點為例，井內溫度約 44 ，井外溫度約 40 ，兩者相差 4 ，此溫度差將造成井內熱能流向井外，加熱溫泉井周圍的地層(圖 12)。溫泉區至少有 100 口以上的溫泉井，這些井的抽水，皆會使淺部地層的溫度漸漸上升。

國小井水溫從 23 緩慢上升至 24 ，可能與溫泉區大量抽水有關(圖 11)。國小井位於冷熱水的邊界、溫度只有 23 - 24 ，與溫泉源頭(溫度 65)相差甚大，此溫度差會使熱水區的熱能，持續向國小井流動，若鄰近的溫泉井時常抽水，更會加速溫度上升。

前人研究認為，礁溪溫泉區大量的抽水，應會造成下游溫泉區的水源減少、水位下降及水溫降低(張智欽，2000)，其概念如圖 15 所示。但從本研究的監測記錄中，該時段內(2007年8月至2009年1月、共一年半)，並沒有發現水位(一年期)降低(圖 6)；相反的、太子井及國小井都有水溫微升的現象(圖 11)，推測溫泉井大量的抽熱水，對淺部地層有加熱作用。

結論

根據地質鑽探及溫度剖面量測，可推論礁溪溫泉的生成模式。熱水由西側山邊之四稜砂岩上湧，進入沖積層後，向東、東南方及南方水平流動，西北至東南軸長約 1.5km、東北至西南寬約 1.0km。此沖積層在湯圍附近厚度約 100m，往東南變厚、可達 200m。由上往下約可分三層，上下段以礫石層為主、中段為中細砂層。

礁溪溫泉的業者大都取用沖積層中段、地面下 20 - 50m 深之含水層，此層之水位由西北往東南漸次降低，湯圍觀測井的水位約海拔標高 15m 至天隆飯店

約 1 - 5m。水位變動與降雨有明顯的相關，2008 年 9 月降雨超過 1000mm，水位上升即達 1 - 6m。

礁溪溫泉的水溫有明顯的空間變化，由溫泉源頭向下游流動時漸漸變冷，上下兩層較冷、中段較熱。此主要熱水層之水溫也由西北往東南漸次降低，春和浴室約 65、湯圍觀測井約 55、至天隆飯店約 45。

監測記錄中(2007 年 8 月至 2009 年 1 月、共一年半)，並沒有發現水位(一年期)降低；相反的、太子井及國小井都有水溫微升的現象，推測溫泉井大量的抽熱水，對淺部地層有加熱作用。

參考文獻

- 工研院礦業研究所，1975，台灣地熱資源探勘工作報告。
- 工研院能資所，1993，礁溪溫泉區地球物理及鑽井探勘報告。宜蘭縣政府委託。
- 工研院能資所，2000 - 2003，台灣溫泉水資源之調查及開發利用。水利署委託。
- 工研院及台糖公司，2003，礁溪溫泉地區觀測井建置成果報告。經濟部中央地質調查所委託。
- 江新春，1976，宜蘭平原之震測。礦業技術，第 14 - 6 期，第 212 - 221 頁。
- 吳永助，1973，台灣溫泉區之地熱潛能。礦業技術，第 10 - 12 期，第 2 - 6 頁。
- 林朝宗，2000，五萬分之一台灣地質圖圖幅第九號新店，經濟部中央地質調查所。
- 黃鑑水、何信昌，1989，五萬分之一台灣地質圖圖幅第十號頭城，經濟部中央地質調查所。
- 張智欽，2000，礁溪溫泉安全出水量之研究。師大地理研究報告，第 32 期，第 23 - 50 頁。
- 張寶堂，2004，礁溪溫泉資源調查與開發之研究。國立台北科技大學材料及資源工程系碩士論文，
- 陳文福、陳尉平、李孫榮、張廣智，2009，溫泉生產井兼作水位及水量監測井之可行性，農業工程學報，第 55 卷、第 3 期，53-64 頁。
- 臺糖公司地下水中心，2000，地下水觀測網之建立與運作管理：宜蘭平原、桃園台地及嘉南平原。經濟部水利處委託。
- 臺糖公司地下水中心，2004，台灣地區地下水觀測網水質常態監測與調查分析。經濟部水利處委託。
- 臺灣大學建築與城鄉發展基金會，2002，礁溪溫泉資源調查、監測與利用計畫。宜蘭縣政府委託。
- Chen SX, 2008, Thermal conductivity of sands. Heat Mass Transfer 44, 1241-1246.
- Clauser C and Huenges E, 1995, Thermal conductivity of rocks and minerals. In Rock physics and phase relations: a handbook of physical constants. American Geophysical Union, 105-126.
- Robertson EC, 1988, Thermal properties of rocks. USGS Open file report 88-441, 106p.

- Sugarawa A and Yoshizawa Y, 1961, An investigation on the thermal conductivity of porous materials and its application to porous rock, *Austral. J. Phys.*, 14, 463-480.
- Ussher G, Harvey C, Johnstone R, Anderson E, 2000, Understanding the resistivities observed in geothermal systems. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 1915-1920.
- Woodside W and Messmer JH, 1961, Thermal conductivity of porous media, I: unconsolidated sands, II consolidated rocks, *J. Appl. Phys.*, 32, 1688-1706.

表圖目錄

表 1 礁溪溫泉之水文地質相關研究

表 2 本研究之試驗井

表 3 現地量測數據

表 4 降雨量與水位上升量統計

表 5 宜蘭雨量站之歷年記錄

圖 1 礁溪溫泉之位置、地質與剖面

圖 2 地電阻剖面圖

圖 3 (A) 井溫剖面。(B) 水溫剖面

圖 4 礁溪溫泉成因解釋

圖 5 導熱模式估算

圖 6 四口監測井之水位歷線

圖 7 推測溫泉水之水平流向

圖 8 2008 年 9 月之降雨與太子井水位比對

圖 9 降雨量與太子井水位上升量之關係

圖 10 2007 至 2009 年同月份降雨及水位比較

圖 11 三口試驗井之水溫歷線

圖 12 影響水溫的因素示意圖

圖 13 2008 年 9 月之降雨與水溫比對

圖 14 天隆井因抽水造成溫度上升

圖 15 過度開發可能造成冷熱水交界退縮

表 1 礁溪溫泉之水文地質相關研究

文獻	研究內容
工研院礦業研究所 (1975)	第一口鑽探井 IH1、深度 275m。
江新春 (1976)	用震測調查宜蘭平原之基盤深度。
工研院能資所 (1993)	員山及溫泉溝兩口鑽探井、深度各為 150 及 108m。 地電阻探勘。
臺糖公司地下水中心 (2000)	地下水觀測網礁溪觀測井之建立。
工研院及臺糖公司 (2003)	湯圍溝甲 (太子) 及湯圍溝乙 (湯圍) 兩口鑽探及 觀測井、深度各為 87 及 181m 並有單井抽水試驗。

表 2 本研究之試驗井

井名	井深 (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	靜水位 (m)	測棒深度 (m)
湯圍井	44	327002	2747168	15	1.70	11.25
太子井	60	327160	2747065	14	1.67	17.82
國小井	44	326924	2746361	10	6.08	10.00
天隆井	20	327632	2747297	6	1.50	10.00

1. 座標以簡易 GPS 儀量測、水平誤差最大可達 10m。
2. 靜水位為距井口。

表 3 現地量測數據

井名	日期	水位 (m)	水溫 ()	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm} 25$)	pH
湯圍	2007.09.28	自流	42.9	1509	8.54
	2007.10.30	自流	40.7	1243	8.43
	2007.11.22	0.30	38.9	1620	8.41
	2007.12.20	0.50	40.0	1236	7.51
	2008.01.18	0.78	38.8	1445	7.97
	2008.02.19	0.82	37.2	1370	8.29
	2008.03.20	1.70	41.3	832	7.63
	2008.04.09	1.44	41.1	839	7.56
	2008.05.16	1.32	42.0	827	7.71
	2008.08.28	1.63	42.5	1106	7.83
	2009.02.02	2.59	43.3	780	7.50
	太子	2007.09.28	自流	33.3	939
2007.10.30		自流	33.9	934	7.70
2007.11.22		0.97	36.7	898	7.19
2007.12.20		1.51	37.0	961	6.97
2008.01.18		1.60	35.0	950	6.80
2008.02.19		1.68	32.3	937	5.67
2008.03.20		1.67	35.4	888	7.51
2008.04.09		1.51	36.1	896	7.80
2008.05.16		1.57	35.0	898	7.80
2008.08.28		1.87	37.0	918	8.01
2009.02.02		2.97	38.0	896	7.95
國小		2007.09.28	3.55	25.5	175
	2007.10.30	4.64	24.6	226	7.36
	2007.11.22	4.64	22.5	208	8.02
	2007.12.20	5.32	22.4	245	5.86
	2008.01.18	6.55	22.6	235	6.70
	2008.02.19	5.23	22.00	265	6.63
	2008.03.20	6.16	22.8	231	7.02
	2008.04.09	5.91	24.1	235	6.87
	2008.05.16	5.92	25.2	335	6.60
	2008.08.28	6.37	24.5	319	7.54
	2009.02.02	6.49	23.1	241	7.40
	天隆	2007.09.28	1.25	34.6	846
2007.10.30		1.65	34.1	881	8.08
2007.11.22		7.83	36.5	902	7.78
2007.12.20		2.27	32.1	908	6.74
2008.01.18		3.11	37.0	978	7.86
2008.02.19		2.79	39.0	866	7.69
2008.03.20		2.45	38.0	864	8.03
2008.04.09		2.29	37.6	865	7.98
2008.05.16		2.12	39.0	889	8.10
2008.08.28		2.36	40.5	893	7.86
2009.02.02		9.86	41.5	877	7.86

水位為距井口下

表 4 降雨量與水位上升量統計

降雨時段	累積降雨量 (mm)	水位上升時段	水位上升量 (m)
6月1日 - 6月3日	20	6月1日 - 6月3日	0
6月12日 - 6月18日	99	6月12日 - 6月18日	0
6月27日 - 6月29日	47	6月27日 - 6月29日	-0.1
7月7日 - 7月10日	53	7月7日 - 7月10日	-0.2
7月17日 - 7月18日	50	7月17日 - 7月19日	-0.1
7月26日 - 7月29日	147	7月26日 - 7月29日	1.0
8月13日 - 8月14日	28	8月13日 - 8月15日	0
8月30日	61	8月30日 - 9月1日	0.2
9月1日 - 9月2日	24	9月1日 - 9月3日	0
9月9日 - 9月15日	586	9月9日 - 9月15日	1.5
9月26日 - 9月29日	298	9月26日 - 9月29日	0.6
10月6日 - 10月10日	106	10月6日 - 10月10日	0.1
10月15日 - 10月20日	120	10月15日 - 10月20日	0
10月24日 - 10月25日	82	10月24日 - 10月26日	0
11月3日 - 11月4日	50	11月3日 - 11月5日	0.2
11月8日 - 11月9日	147	11月8日 - 11月10日	0.25

表 5 宜蘭雨量站之歷年記錄

年/月	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	平均
1	188	200	399	49	21	34	130	377	159	125	168
2	37	517	104	36	9	175	358	173	53	214	168
3	87	183	66	45	69	155	201	137	131	142	122
4	60	208	142	14	175	86	81	148	124	116	115
5	183	84	423	82	34	158	581	329	135	135	214
6	238	267	252	130	244	157	198	216	356	172	223
7	169	298	168	454	0	155	269	142	10	250	192
8	74	376	175	110	89	381	431	237	519	97	249
9	318	22	1212	219	279	458	353	482	429	941	471
10	369	539	259	244	183	213	394	32	420	315	297
11	248	977	70	78	287	208	144	149	711	263	314
12	220	535	247	184	17	371	185	302	63	70	219
年雨量	2191	4206	3517	1645	1407	2551	3325	2724	3110	2840	2752
8-11 月	1009	1914	1716	651	838	1260	1322	900	2079	1616	1331

單位：mm

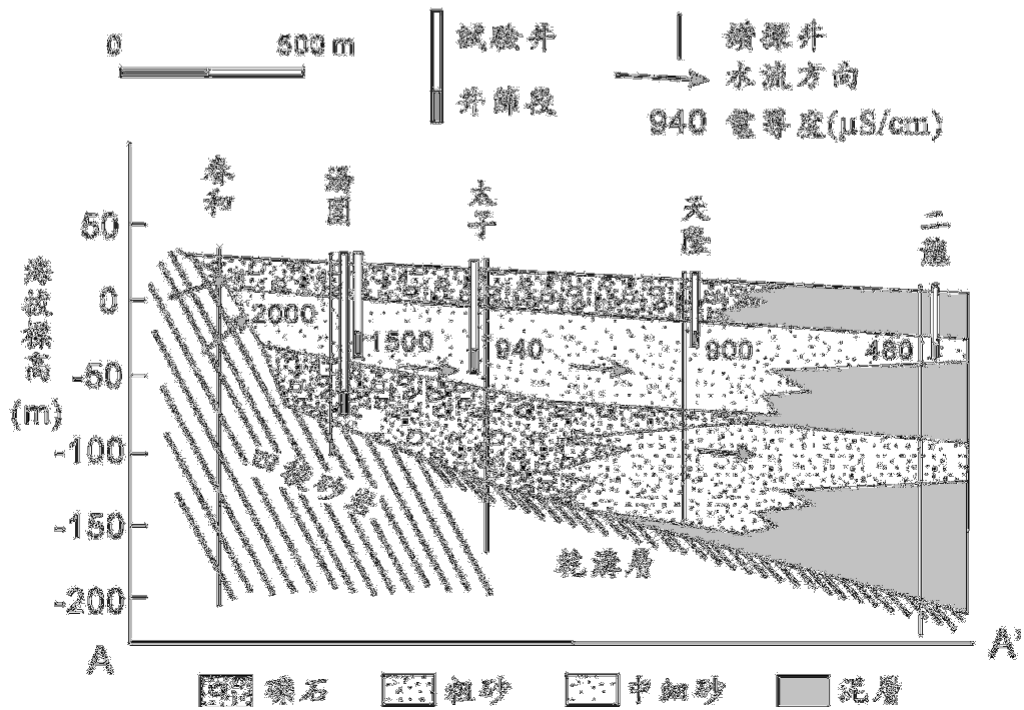
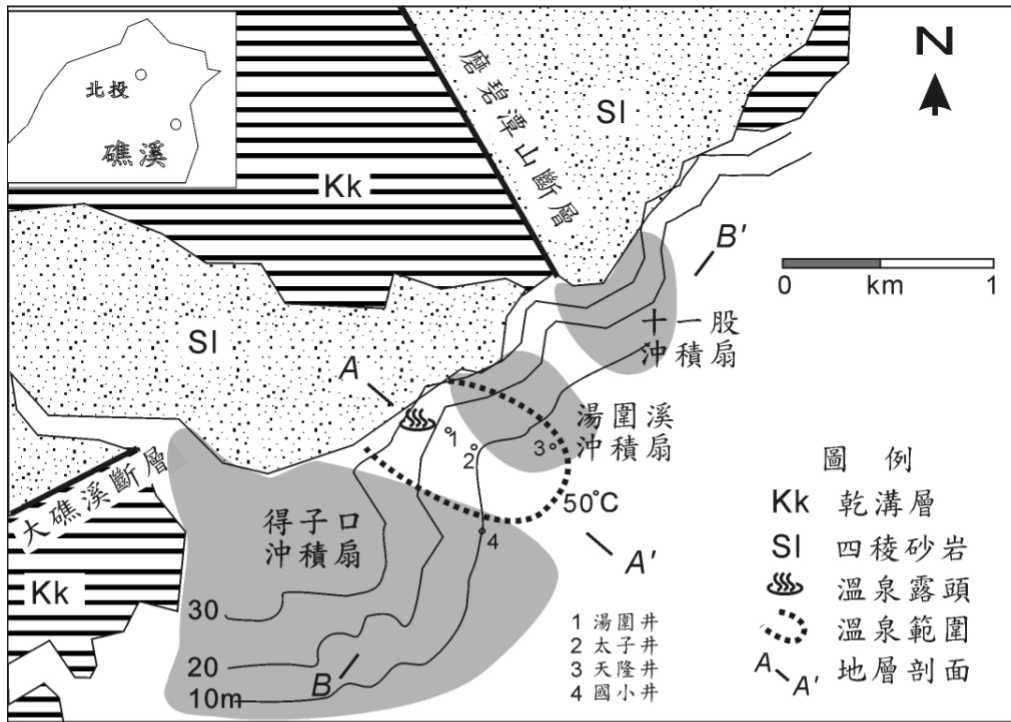


圖 1 礁溪溫泉之地質與剖面

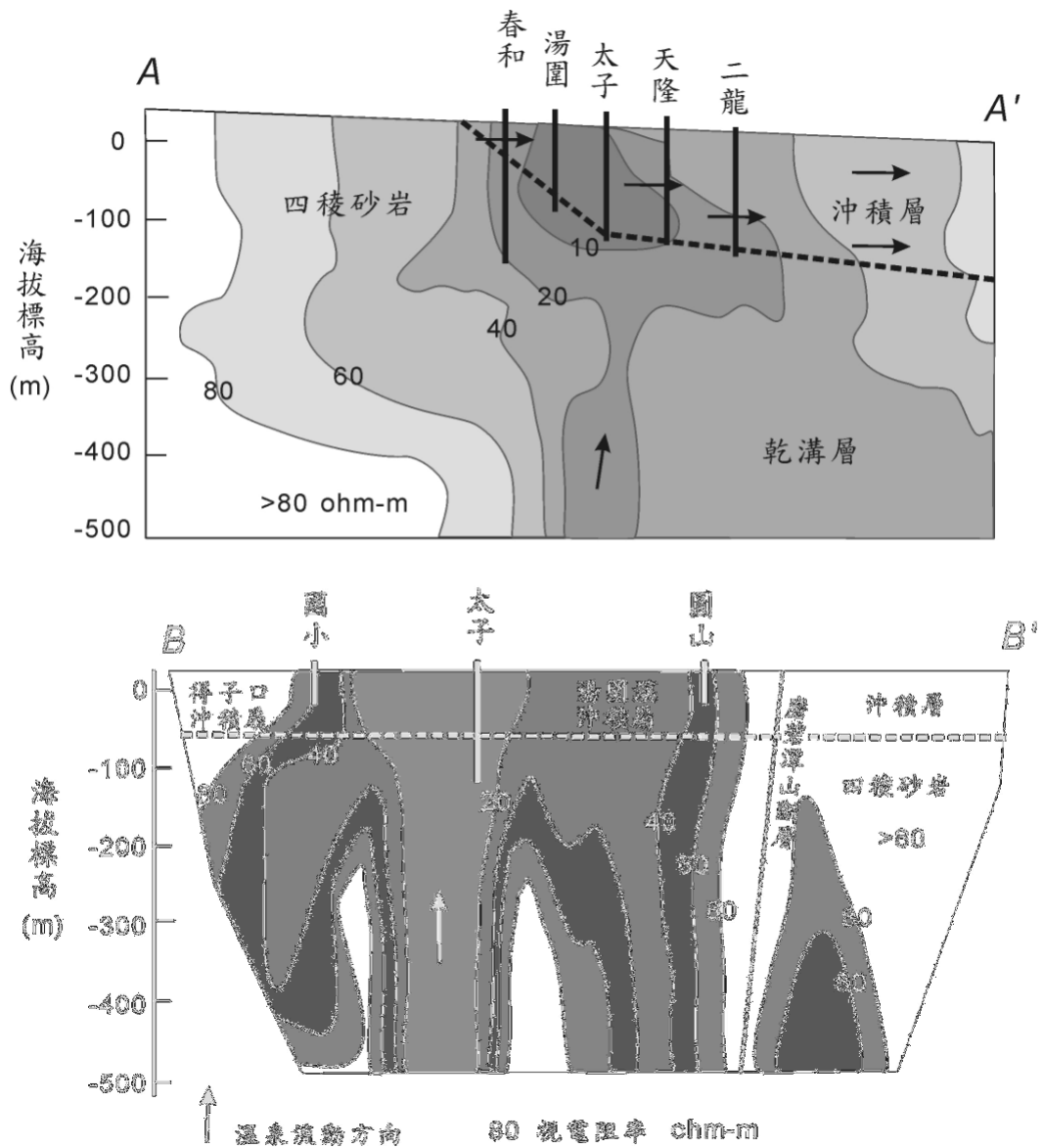


圖 2 地電阻剖面 (數據來源：工研院能資所、1993)

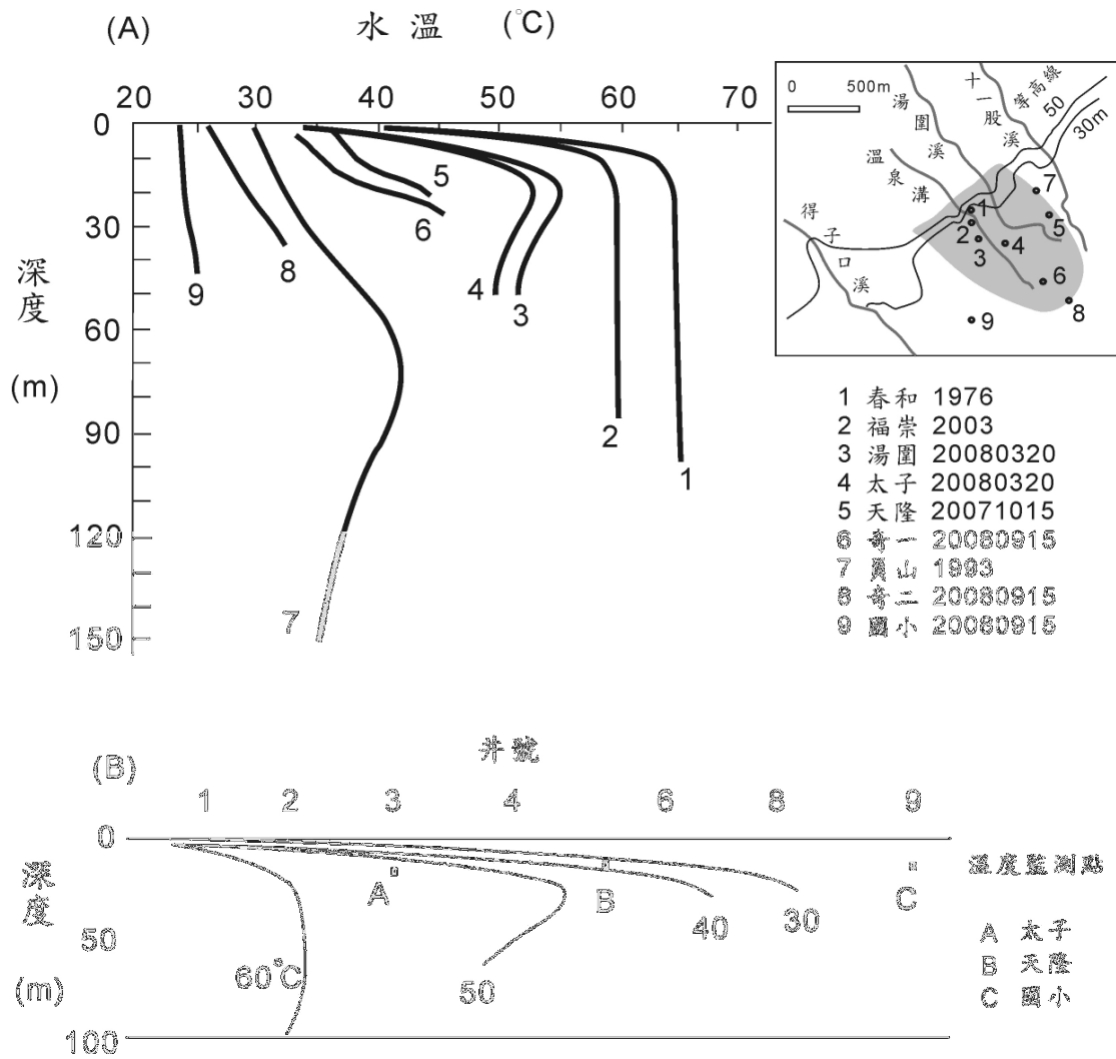


圖 3 (A) 井溫剖面。數據來源：井位 1 及 7 為工研院能資所 (1993)；2 號井張寶堂 (2004)；其餘為本研究實測。

(B) 水溫剖面，由西北向東南、水溫漸降。

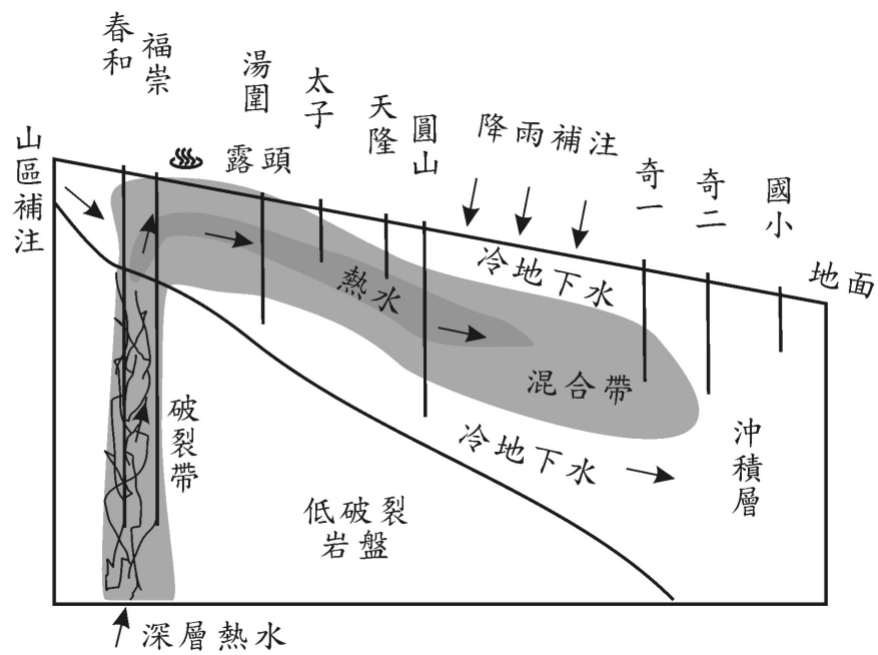


圖 4 礁溪溫泉成因解釋

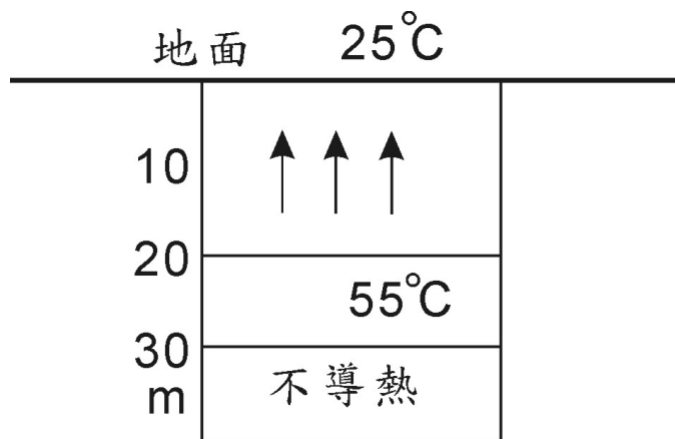


圖 5 導熱模式估算

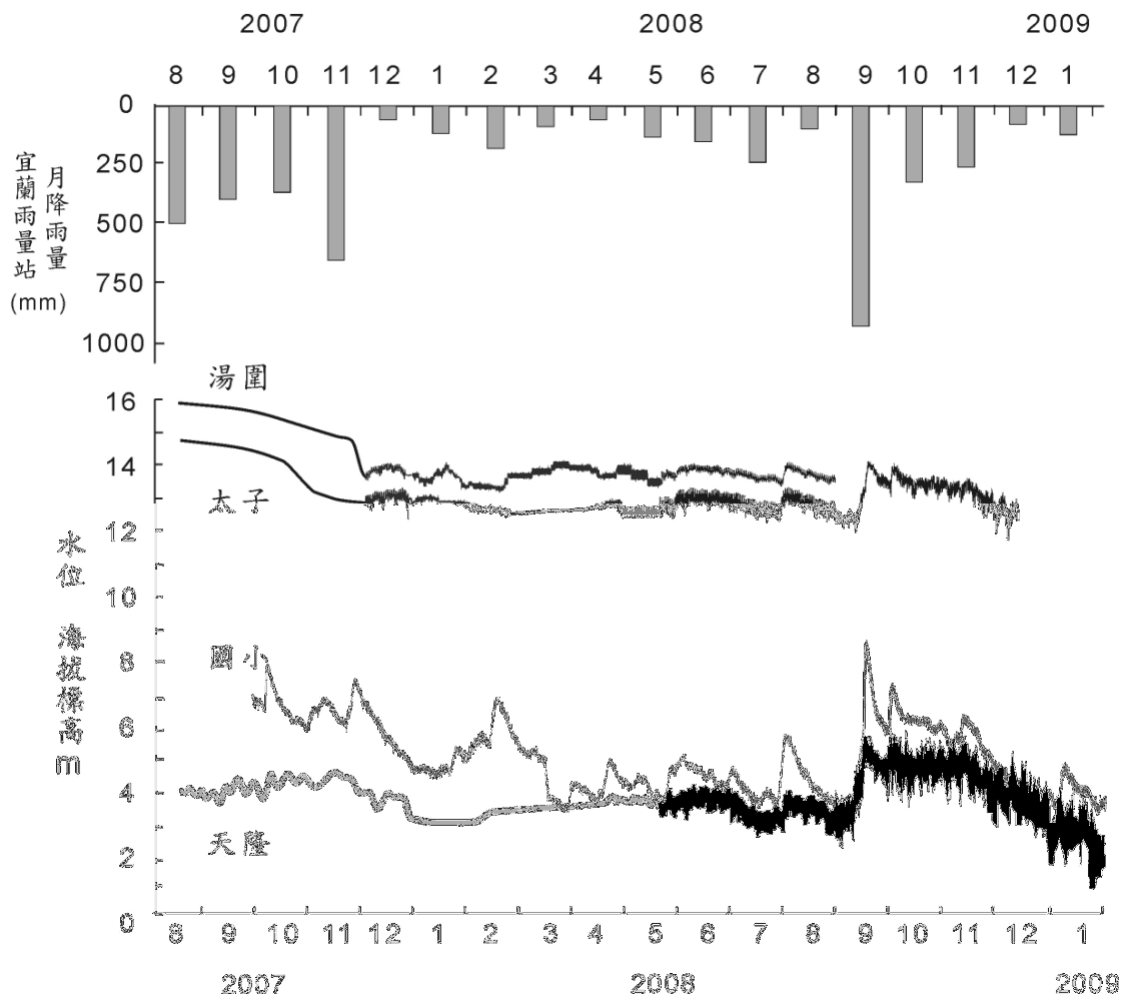


圖 6 四口監測井之水位歷線

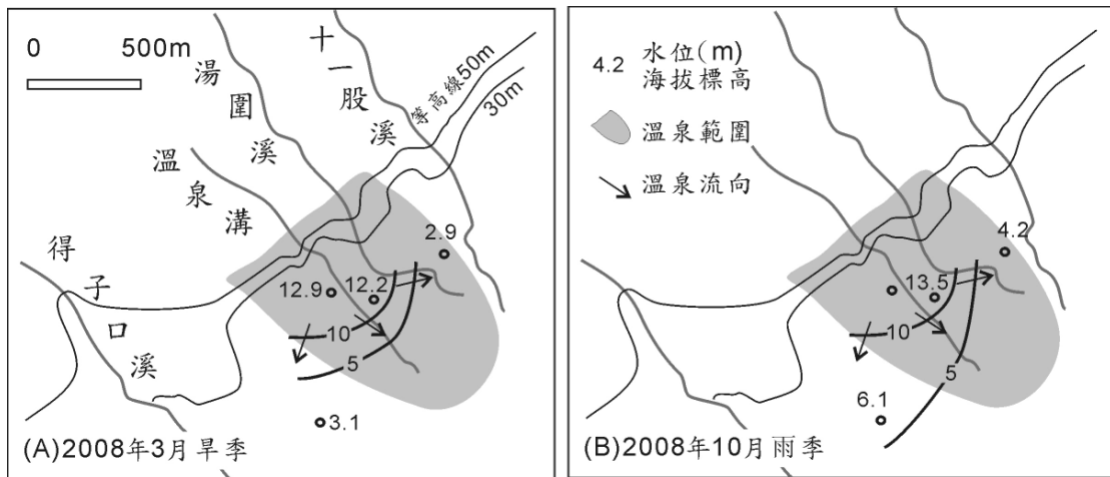


圖 7 推測溫泉水之水平流向

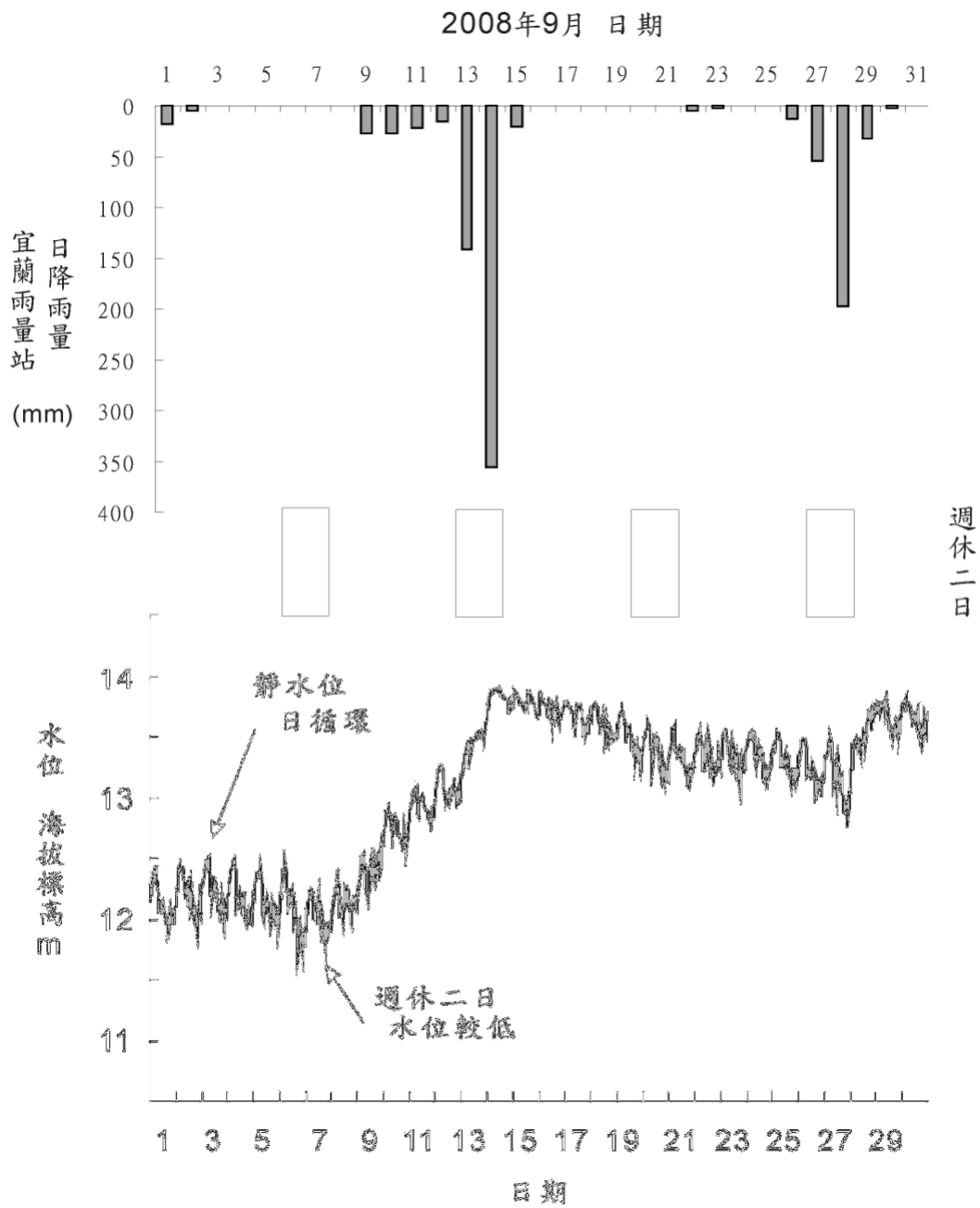


圖 8 2008 年 9 月之降雨與太子井水位之比對

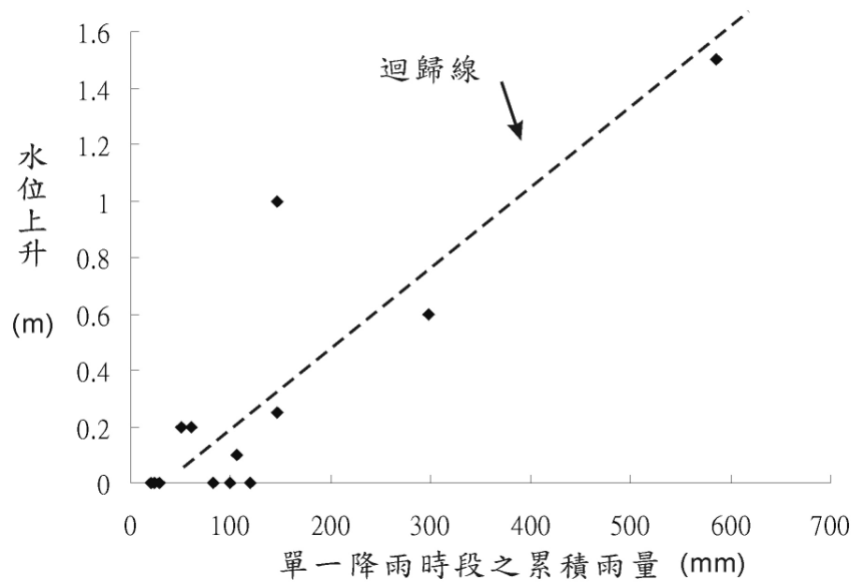


圖 9 降雨量與太子井水位上升量之迴歸

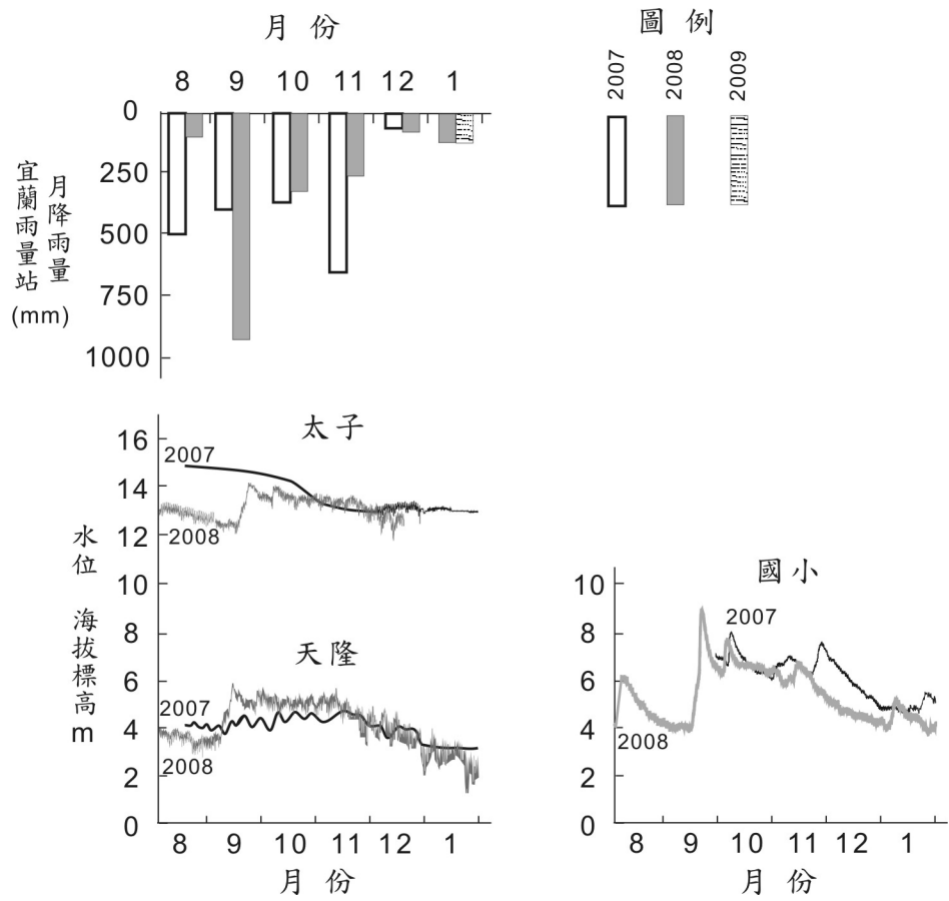


圖 10 2007 至 2009 年同月份降雨及水位比較

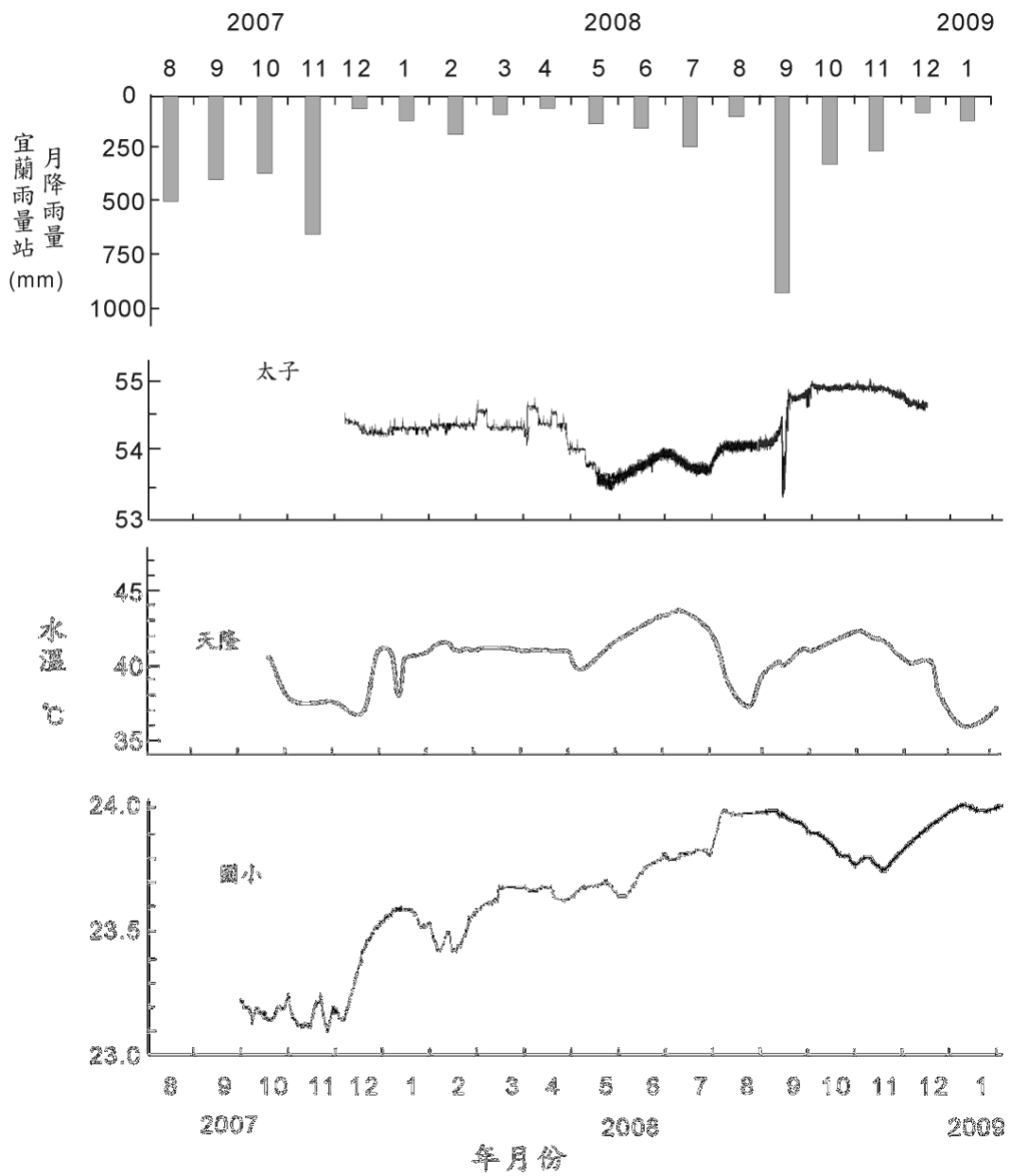


圖 11 三口試驗井之水溫歷線

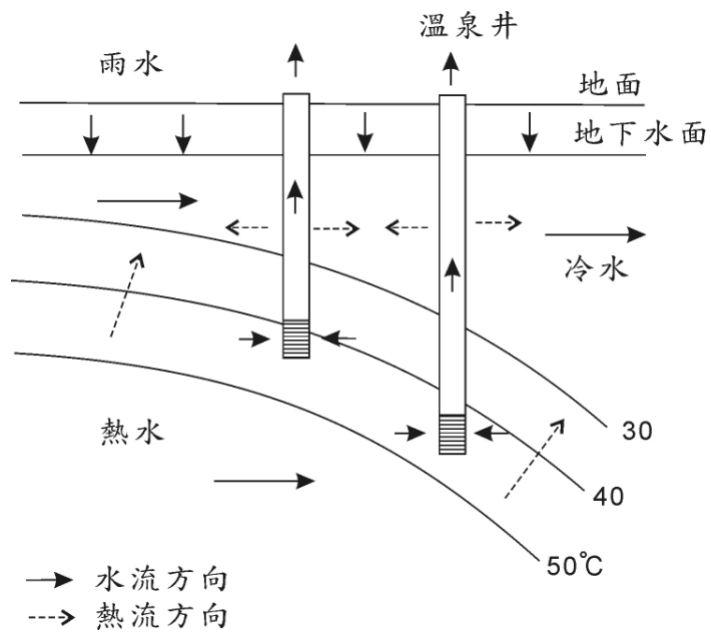


圖 12 影響水溫的因素示意圖

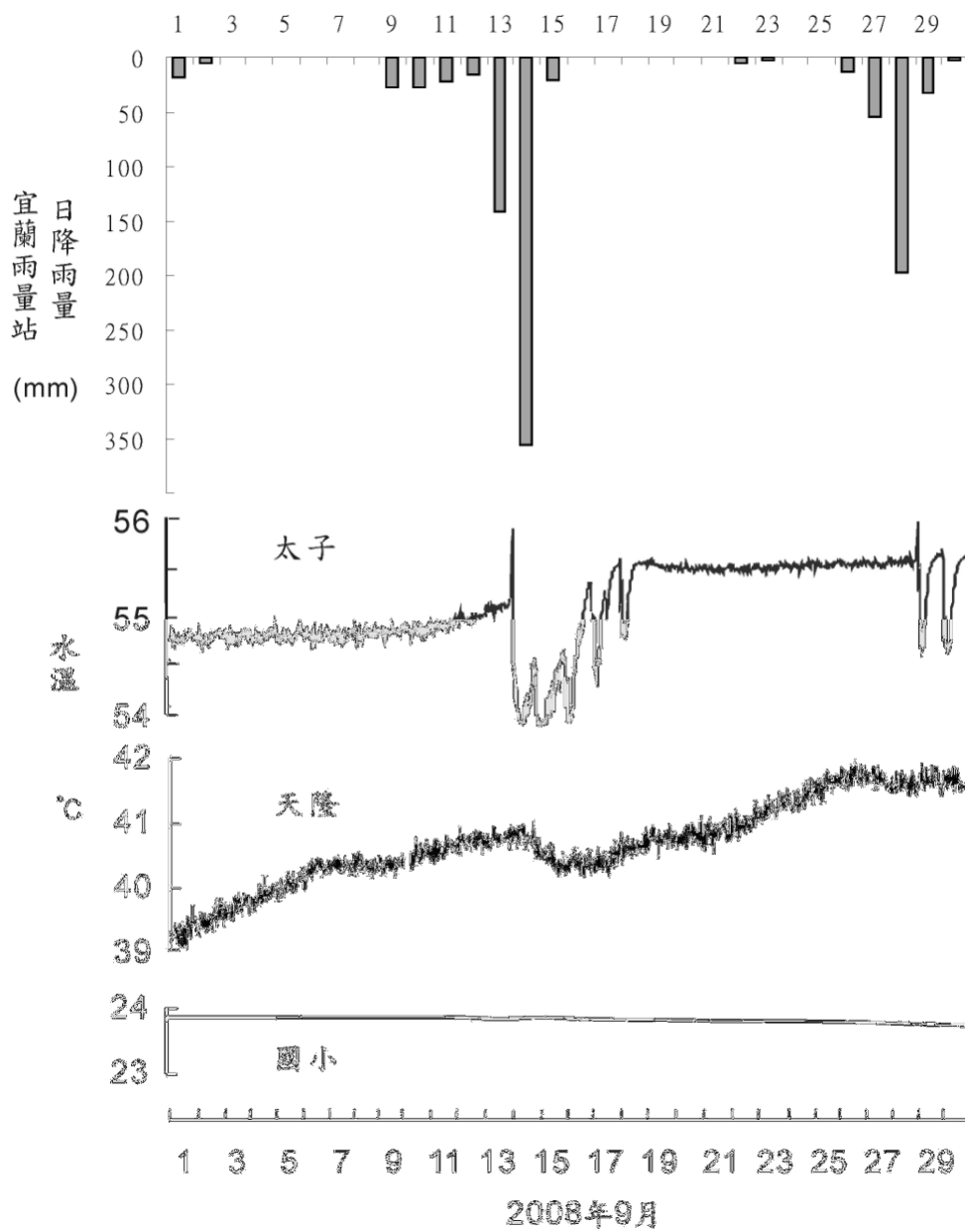
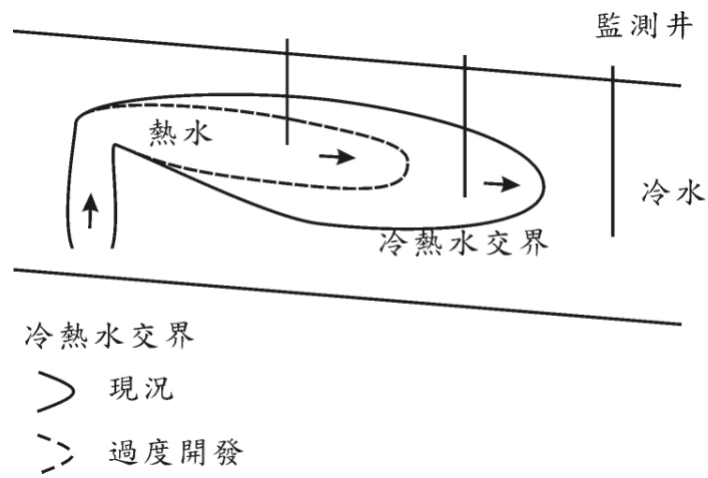
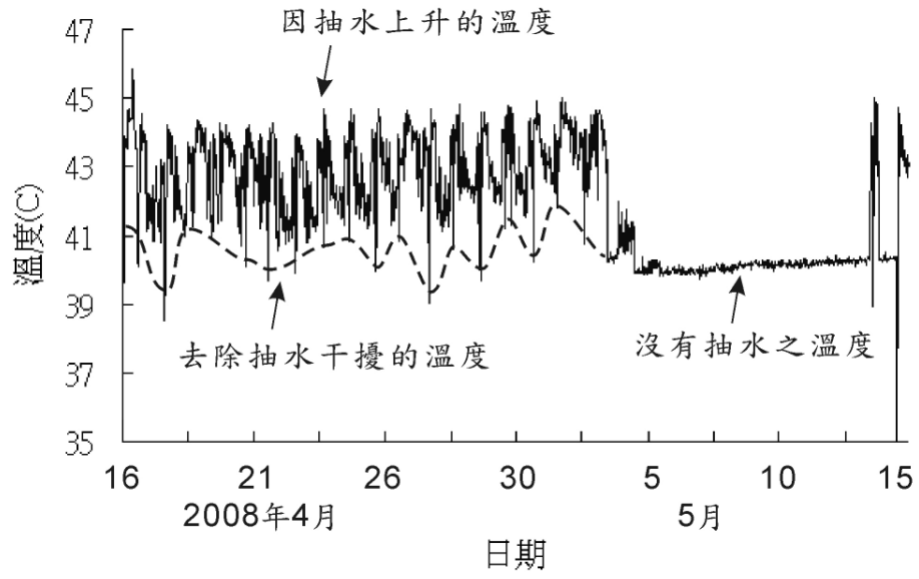


圖 13 2008 年 9 月降雨量與太子井之水溫比對



計畫成果自評

本研究針對礁溪溫泉之水位水溫監測部份，已設立四站監測儀器，取得數據，並有初步分析結果，可以對礁溪溫泉的成因、產狀及現況，有深入的瞭解，對於溫泉水資源的應用與管理，有極大的助益。井溫剖面的量測，對於地下水流向及區域熱流，提供重要的數據。本研究已達成預期目標。

本研究之成果具有學術價值，可發表於學術論文。本研究之觀測數據也可提供溫泉使用者及管理者，如經濟部水利署及宜蘭縣政府，作為溫泉管理之依據。本研究發現礁溪溫泉的水量仍很充沛，在雨季時許多井能自湧，但旱季時水位也會下降，如何善用水資源，有待管理單位善用此研究成果。

出席國際學術會議心得報告

會議名稱：2008 美國地球物理年會

(American Geophysical Union Fall Meeting 2008)

會議時間：15-19, December 2008

地點：美國舊金山

心得

美國地球物理學會是重要的地球科學組織之一，全球會員約有五萬多人，參加秋季年會的人數也高達一萬六千多人，此會議涵蓋的題目很廣，我比較感興趣的科目為：Hydrology 和 Geochemistry。

此次開會我的論文發表題目為 The occurrence and geochemistry of arsenic in groundwaters of Taiwan，以海報發表，因為口頭發表登記的人太多了，主持人希望大家也多用海報發表，其實海報時間比較長，來討論的人相對多很多，在實質效果上更有收獲。

此篇論文為我多年調查台灣地下水的砷濃度的研究成果，討論分析砷濃度與氧化還原電位間的關係，討論其在台灣地下水中的控制因素，會場有多位各國研究地下水砷的專家，也對彼此題目有興趣，有許多熱烈的討論，讓我也收獲不少。

附件一：發表之論文摘要

附件二：發表之海報

附件一：發表之論文摘要

Cite abstracts as **Author(s) (2008)**, Title, *Eos Trans. AGU*,
89(53), Fall Meet. Suppl., Abstract xxxxx-xx

0800h **H41E-0919**

The occurrence and geochemistry of arsenic in groundwaters of Taiwan

* **Chen, W** *chenwenfu@ntu.edu.tw*

Chianan University, 60 Erh-jen Rd, Sec 1, Jen-Te, Tainan, 717, Taiwan

Lu, H *seishei@eq.ccu.edu.tw*

*Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University,
168 University Rd. Min-Hsiung, Chia-yi, 621, Taiwan*

Liu, T *liutk@ntu.edu.tw*

*Department of Geosciences, National Taiwan University, No. 1, Sec. 4, Roosevelt Road,
Taipei, 106, Taiwan*

Blackfoot disease caused by digesting water with high concentration (>0.3 mg/L) of arsenic from deep wells affected thousands of people in Chianan of Taiwan during 1930 to 1960. Drinking water with arsenic, even in a lower concentration (0.1-0.01 mg/L) increase risk of cancer that had been demonstrated by a number of studies on Taiwan. By concerning the effects of long-term chronic exposure to arsenic, the EPA of United States had revised the regulatory limit of arsenic for drinking water from 0.05 to 0.01 mg/L in 2006. Many researches have investigated on the occurrence and chemistry of the arsenic-contained groundwater and its health effects in Chianan of Taiwan. However, there are only a few studies on the other groundwater basins of Taiwan that providing about one third of water supplies for a population of 21 million. In this study, we investigate the occurrence and redox geochemistry of arsenic in nine major groundwater basins of Taiwan.

The values and concentrations of pH, Eh, dissolved oxygen, nitrate, sulfate, iron, methane, sulfide, bicarbonate and ammonium in groundwaters were determined with a total of 610 monitoring wells in 2006. More than 60% of wells in the GW6 basin with a concentration of arsenic exceed 0.05 mg/L. The groundwaters in GW6 basin also have the highest average arsenic concentration. The exceeding percent (>0.05 mg/L) of wells for GW7, GW5, GW9 and GW8 basins are 30%, 20%, 18% and 8%, respectively. All of arsenic concentrations in

groundwaters of GW1 to GW4 basins are lower than 0.05 mg/L, but some samples are higher than 0.01 mg/L. The exceeding percent of samples for arsenic 0.01 mg/L in GW3, GW1, GW2 and GW4 basins are 28%, 24%, 23% and 6%, respectively. Our results suggest that the concentrations of arsenic as well as iron in groundwaters of Taiwan were elevated by the iron-reducing process in aquifers. Samples, especially those with higher concentration of bicarbonate (> 400 mg/L) and oversaturated methane, mostly in the GW6 basin, show a trend of higher arsenic concentrations.

0496 Water quality

1065 Major and trace element geochemistry

1831 Groundwater quality

Hydrology [H]

2008 Fall Meeting

Table 1 Percent of wells that exceeding the evaluation concentrations

	Evaluation concentration	Ground water Basins								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
pH	7.0	81	59	62	16	91	96	94	82	92
DO	1 mg/L	19	4	8	60	6	0	0	16	10
Eh	0 mV	24	4	23	60	13	0	0	27	28
EC	750 μ S/cm	19	23	12	16	22	84	91	25	31
Hardness	120 mg/L	57	50	76	90	77	91	100	90	49
As	0.01 mg/L	24	23	28	6	33	82	85	40	55
As	0.05 mg/L	0	0	0	0	20	60	30	8	18
Fe	0.3 mg/L	76	64	67	42	64	69	27	38	41
Mn	0.05 mg/L	81	100	86	55	64	57	33	56	56
NO ₃ ⁻ -N	1 mg/L	5	14	17	35	12	0	0	38	0
NO ₃ ⁻ -N	10 mg/L	0	5	2	0	1	0	0	1	0
NH ₄ ⁺ -N	1 mg/L	52	0	21	3	22	88	79	24	62
SO ₄ ⁻²	3 mg/L	71	86	93	100	74	60	100	88	72
HCO ₃ ⁻	500 mg/L	0	0	0	0	4	30	9	2	15
CH ₄	5000 ppm	0	0	0	0	3	41	9	5	13
DOC	4 mg/L	10	5	0	6	6	47	18	1	10

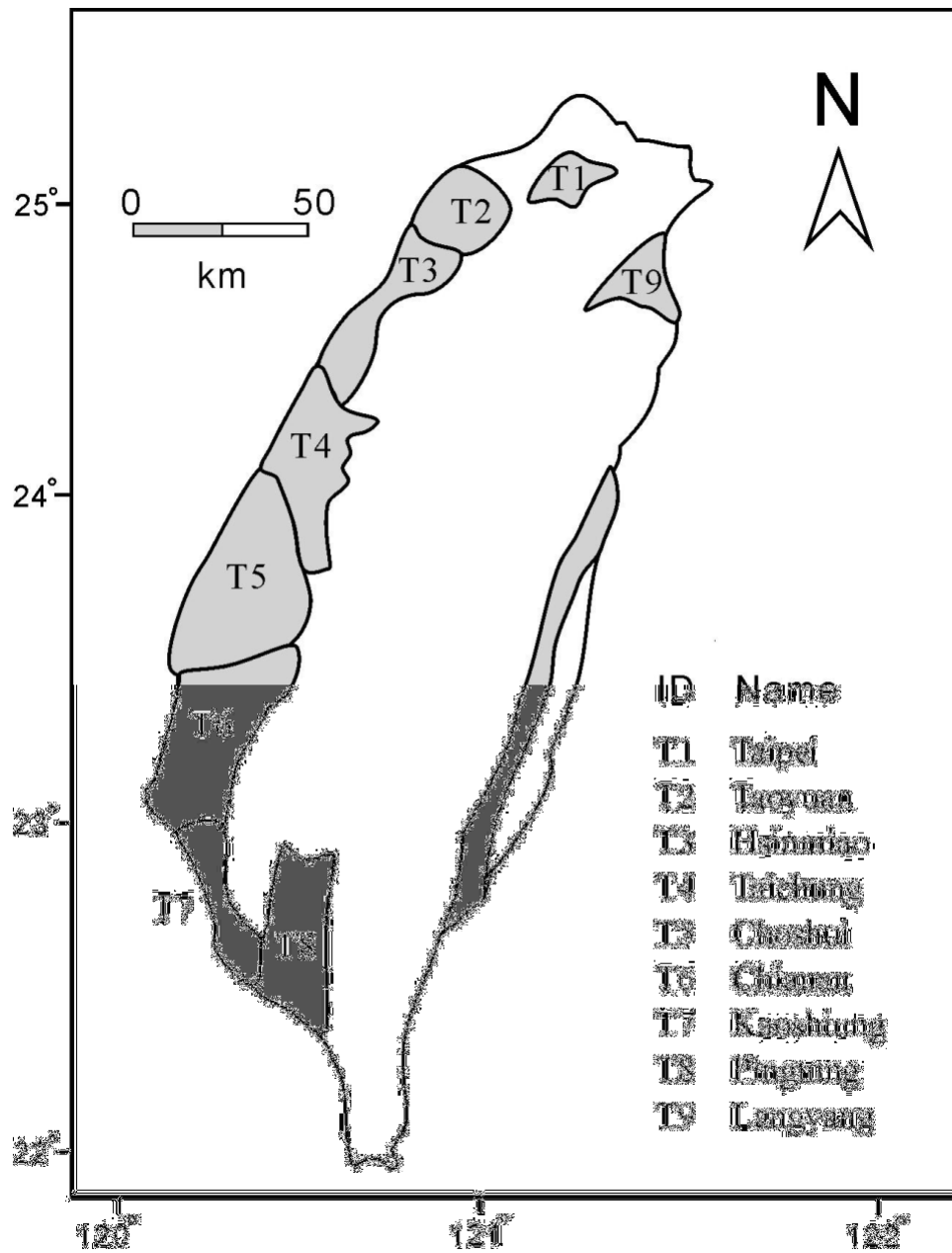


Fig. 1. Locations of the sampled groundwater basins.

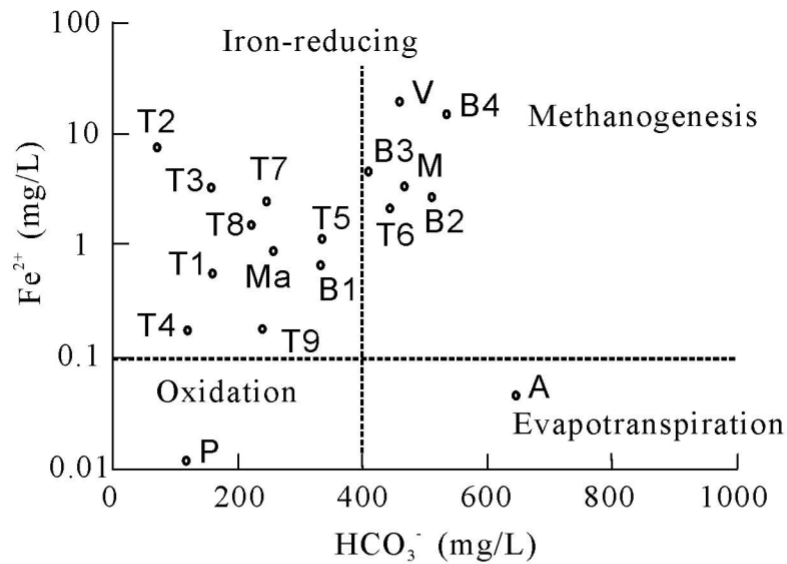


Fig.2 The plots of median concentration values of iron and bicarbonate for arsenic-contaminated groundwaters. Points T1 to T9 from Taiwan (this study); A for La Pampa, Argentina (Smedley et al., 2002); B1 (Zheng et al., 2004), B2 (Nickson et al., 2000), B3 (Swartz et al., 2004) and B4 (Anawar et al., 2003) for Bangladesh ; M for Mahomet, Illinois (Holm et al., 2004); Ma for Marshall, Michigan (Szramek et al., 2004); P for Newark, Pennsylvania of USA (Senior and Sloto, 2006); V for Hanoi, Vietnam (Postma et al., 2007).

The occurrence and geochemistry of arsenic in groundwaters of Taiwan

Wen-Fu Chen Email:chenwenfu@ntu.edu.tw

(Institute of Hot Spring Industry, Chia-Nan University, Taiwan)

Hsueh-Yu Lu

(Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University)

Tsung-Kwei Liu

(Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan)

Introduction

Blackfoot disease caused by digesting water with high concentration (>0.3 mg/L) of arsenic from deep wells affected thousands of people in Chianan of Taiwan during 1930 to 1960. Drinking water with arsenic, even in a lower concentration (0.1-0.01 mg/L) increase risk of cancer that had been demonstrated by a number of studies on Taiwan. By concerning the effects of long-term chronic exposure to arsenic, the EPA of United States had revised the regulatory limit of arsenic for drinking water from 0.05 to 0.01 mg/L in 2006.

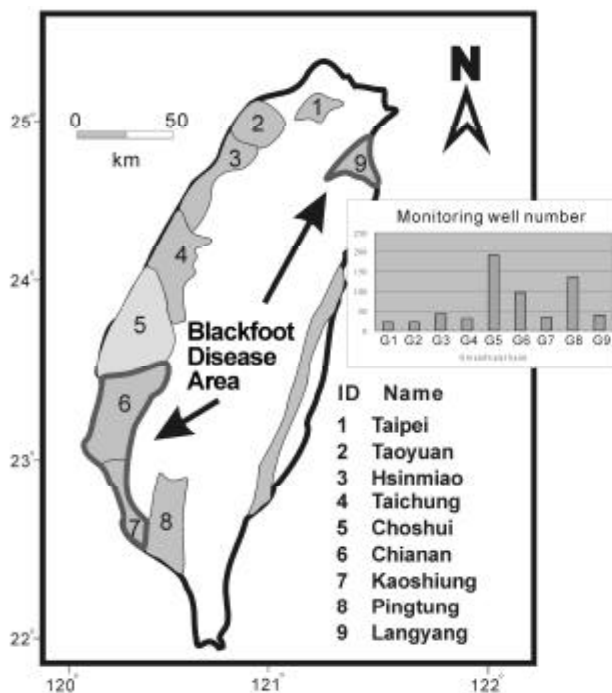
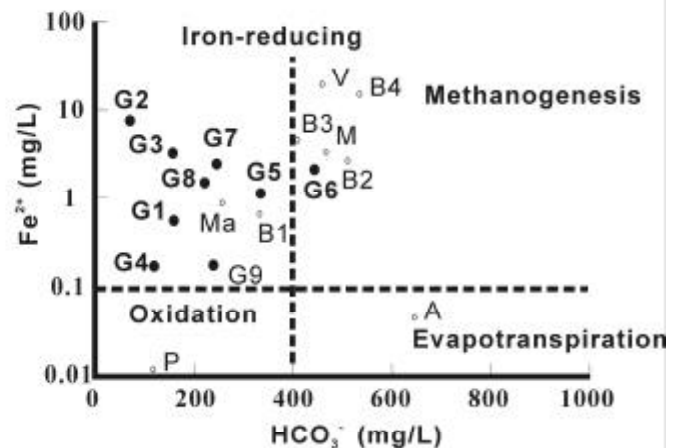


Fig. 1 Locations of groundwater basins.

Many researches have investigated on the occurrence and chemistry of the arsenic-contained groundwater and its health effects in Chianan of Taiwan. However, there are only a few studies on the other groundwater basins of Taiwan that providing about one third of water supplies for a population of 21 million. In this study, we investigate the occurrence and redox geochemistry of arsenic in nine major groundwater basins of Taiwan. The values and concentrations of pH, Eh, dissolved oxygen, nitrate, sulfate, iron, methane, sulfide, bicarbonate and ammonium in groundwaters were determined with a total of 610 monitoring wells in 2006.

Fig. 2 Groundwaters classified by concentration of iron and bicarbonate. Data sources: G1 – G9 Taiwan (This study); A – La Pampa, Argentina (Smedley et al., 2002); B1 (Zheng et al., 2004), B2 (Nickson et al., 2000), B3 (Swartz et al., 2004); B4 (Anawar et al., 2003) Bangladesh ; M – Mahomet, Illinois (Holm et al., 2004); Ma – Marshall, Michigan (Szramek et al., 2004); P – Newark, Pennsylvania USA (Senior and Sloto, 2006); V – Hanoi, Vietnam (Postma et al., 2007).



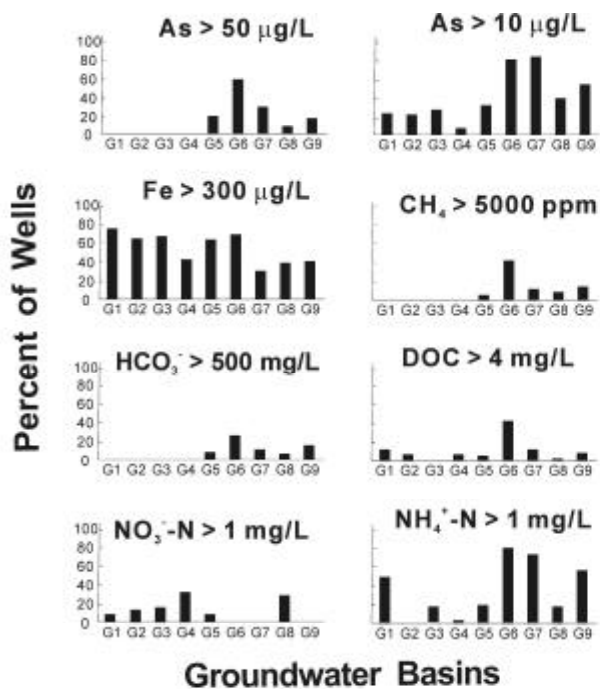


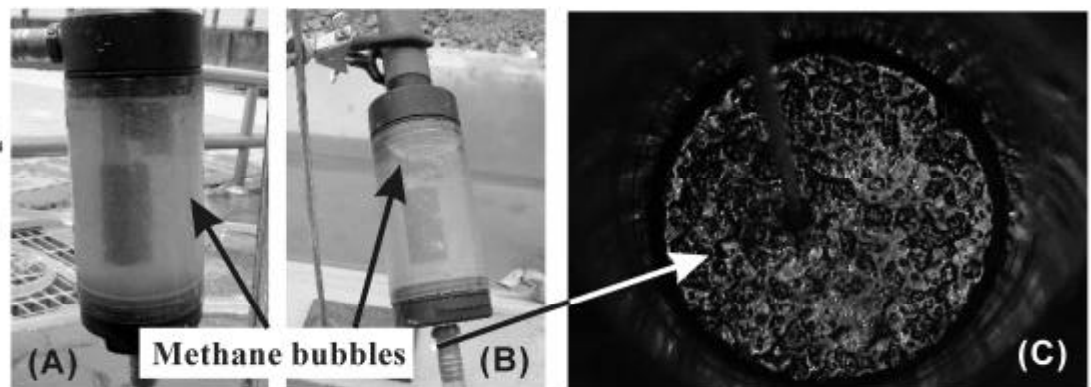
Fig. 3 Redox ions of groundwater basins

Percentage of well As exceeding 0.05 mg/L

More than 60% of wells in the G6 basin with a concentration of arsenic exceed 0.05 mg/L. The groundwaters in G6 basin also have the highest average arsenic concentration. The exceeding percent (>0.05 mg/L) of wells for G7, G5, G9 and G8 basins are 30%, 20%, 18% and 8%, respectively.

All of arsenic concentrations in groundwaters of G1 to G4 basins are lower than 0.05 mg/L, but some samples are higher than 0.01 mg/L. The exceeding percent of samples for arsenic 0.01 mg/L in G3, G1, G2 and G4 basins are 28%, 24%, 23% and 6%, respectively.

Fig. 4 Overstaturated CH_4 bubbles in groundwaters (A) and (B) and well in G6 basins (C).



High concentration of As in reducing environment

Our results suggest that the concentrations of arsenic as well as iron in groundwaters of Taiwan were elevated by the iron-reducing process in aquifers. Samples, especially those with higher concentration of bicarbonate (> 400 mg/L) and oversaturated methane, mostly in the G6 basin, show a trend of higher arsenic concentrations.

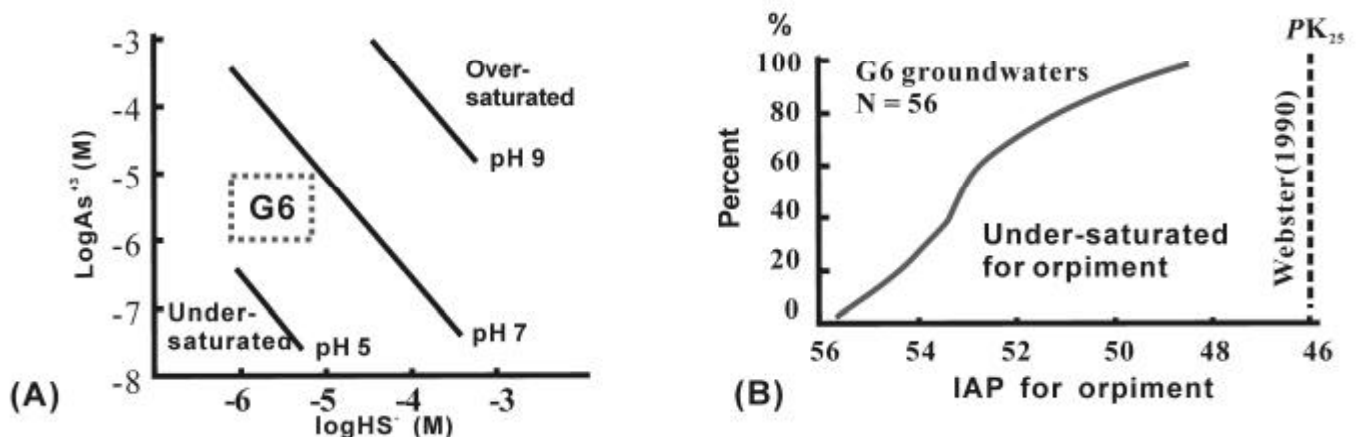


Fig. 5 (A) Groundwaters of G6 would be saturated for orpiment if pH is about 6. (B) A total of 56 samples contain sulfide and arsenic in G6 basin are all under-saturated for orpiment (As_2S_3).