

嘉南藥理科技大學
溫泉產業研究所

碩士論文

四重溪地區溫泉井內水質與水位變化之研究

The study of water quality and water level of

Sz-Chung-Shi Hot-Spring

指導教授：甘其銓 博士

研究生：吳東睿

中華民國一〇一年七月

嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所

Institute of hot spring industry

Chia-Nan University of Pharmacy and Science

碩士論文

Thesis for the Degree of Master

四重溪地區溫泉井內水質與水位變化之研究

The study of water quality and water level of

Sz-Chung-Shi Hot-Spring

指導教授(Advisor)：甘其銓 博士 (Chi-Chuan Kan)

研究生(Master student)：吳東睿 (Tung-Jui Wu)

中華民國一〇一年七月

July 2012

嘉南藥理科技大學
碩士學位考試委員會審定書

本校 溫泉產業研究所 碩士班 吳東睿 君

所提論文 四重溪地區溫泉井內水質與水位變化之研究

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

考試委員：朱永壽 陳耐平

甘其銓

指導教授：甘其銓

系主任（所長）：陳耐平

中華民國 101 年 7 月

嘉南藥理科技大學碩士紙本論文授權書

本論文為本人（即著作權人） 吳東睿 於嘉南藥理科技大學

溫泉產業研究所 100 學年度第 2 學期取得碩士學位之論文。

論文題目：四重溪地區溫泉井內水質與水位變化之研究

指導教授： 甘其銓

☒ 同意立即開放

■紙本論文延後公開年限

☐一年 ☐二年 ☐三年 ☐四年 ☐五年

■延後公開原因：

☐ 申請專利(申請專利文號: _____)

☐ 準備申請專利

☐其他：

【以上各項延後公開期限，依教育部 97 年 7 月 23 日台高通字第 0970140061 號函文規定，需訂定合理期限，不超過研究生畢業次日起 5 年】

以非專屬、無償授權嘉南藥理科技大學圖書館和國家圖書館。基於推動「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋本校與社會作為學術研究目的之用，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟、學位論文全文系統、網路或其他各種方法收錄、重製、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，以提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

學 號： G9926005

研究生：吳東濱 (親筆簽名)

指導教授： 甘 昊 (親筆簽名)

中 華 民 國 101 年 8 月 31 日

說明：

- (1) 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁。
- (2) 讀者基於非個人營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法有關規定辦理。

摘要

四重溪溫泉於日據時代與北投溫泉、陽明山溫泉、關仔嶺溫泉號稱為台灣四大溫泉。因近年來觀光旅遊盛行，使得聲名遠播的四重溪旅館增加，導致溫泉井過度的開鑿，使得溫泉水位下降、水溫與水質而改變，屬於過度抽取的溫泉區。溫泉的水位、水質與溫度可能會隨著降雨量、淺成地下水的混入、不同的季節或地下水抽用型態的不同，而有短期或長期的變化，因而了解當地的溫泉區概況，才能達到溫泉資源永續利用。

本研究今年進行四重溪溫泉地區選定之溫泉井進行監測。依據溫泉監測數據顯示，四重溪溫泉區於 2011 年的溫泉水位與 2010 年的同期水位幾乎相等，2011 年水位並無發生前幾年溫泉水位持續下降的情形，研判原因可能是 2009 年時，屏東縣政府針對四重溪進行溫泉總量管制，並對區域內部分溫泉井進行封井，使得本區的於 2010 至 2011 年的溫泉抽取量應較前幾年來的少；此外，2011 年初之時，氣候更為溫暖，導致當年同時期的溫泉使用量減少，因此 2011 年初 1、2 月甚至比較 2010 年同時期略為上升，因此整體而言，2011 年的全年的溫泉水位亦無明顯下降的趨勢。

特別值得注意的是，四重溪溫泉區的旱雨季，地下溫泉水位的落差可達 40 米，此一現象又以較靠近大梅溪的監測井(大山)更為明顯。

在 2011 年八月底的南瑪都颱風期間，可以發現在颱風過境後的一個星期之中，數個監測井皆有短時間水位上升的現象，但隨即由回復至颱風過境前之水位，顯示由地表補注的水對於溫泉循環補注有一定的影響。而針對溫泉井的泉質與泉溫的監測方面，連續監測的結果顯示，四重溪溫泉井的導電度於 2007 年至 2009 年間，皆有下降的趨勢。導電度下降之原因為人為過度超抽溫泉水，導致溫泉水水壓下降，引入附近地表水及淺層地下水的補注，導致其結果。自 2009 年屏東縣政府實施總量管制後，至 2011 年 3 月，本區之水位、水溫、導電度及主要離子成分，皆有逐漸回升。

關鍵字:溫泉、四重溪、溫泉監測



Abstract

During the Japanese occupation age, Szuchung-Hci, Beitou, Yangmingshan, and Guanzihling were the four major hot spring areas in Taiwan. In recent times, popular tourism which lead to an increase in the number of hotels built around the Szuchung-Hci area. The excessive excavation and over-pumping of the hot spring wells caused a decrease in the water level, and changes in water temperature and quality. In addition, short-term or long-term changes in the characteristics of hot spring such as water level, quality and temperature are affected by the amount of rainfall, season changes and groundwater pumping. Thus, it is important to understand the overview and activities occurring around the local hot springs in order to maintain the hot spring water resources.

In this study, hot spring wells around the Szuchung-Hci area were selected and monitored based on their water levels. From the results, there is no significant difference observed between the water levels between 2010 and 2011. Unlike the previous years, 2011 did not display a continuous drop in the water level. This is due to a regulation implemented by the government of Pingtung County in 2009, where a control in hot spring well plugging in some areas around Ssuchungchi was carried out. In addition, the climate was warmer around early 2011, which lead to a decrease in the usage of hot spring resources.

During the dry season, a 40-meter drop in the water level was observed around the Szuchung-Hci area. In August 2011, the arrival of typhoon Nanmadol caused an apparent rise in the water level over a short period of time. The excess water brought by the typhoon became a natural source for recharging the surface water and groundwater, which caused the water table to return to its normal water level. From the measured water quality values, the conductivity was observed to gradually decrease within the range of 1200 to 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. This is due to anthropogenic reasons such as over-pumping, which causes a drop in water pressure and results to the mixing of surface water and groundwater.

Key words: Hot spring, Szuchung-Hci area, Water monitoring

致謝

回首兩年碩士生涯，算是人生的一大轉戾點，真是得到很多也失去很多。感謝我的恩師甘其銓 老師，在我學業及做人處事上的指導與叮嚀，讓我真的體會了「讀萬卷書，不如泡萬種湯」的道理，跑遍全台灣各式各樣的溫泉，讓我在求學生涯中也可吸取實地或業者的經驗，這些經驗都是在書本上找不到的，使我更加喜愛專研我的學業及論文。感謝所上的陳忠偉 老師、陳文福 老師，不吝嗇的提供各種不同的專業知識及觀點，使我受益良多。

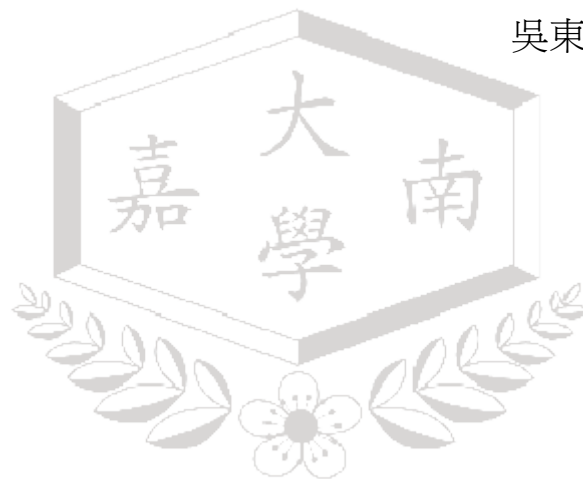
謝謝新興綠色科技實驗室的每個成員，特別感謝學長姐，小蔣、阿咪、怡靜、小瑾，在我剛進碩班不知所措時，教導我實驗及分享學業及生活上的大大小小事。謝謝書斌、楷竣，總是不辭辛勞共患難的一起去四重溪做調查，並指引我實驗及論文的方向。謝謝學弟東翊、文榮、小怪、阿本在我的實驗上大力的幫助，使得各項實驗能順利完成。

另外要感謝溫泉碩班的大家們，一起求學的日子很精彩，課後也常常討論作業與吃飯聚餐聯絡感情，常常一起出遊踏青紓解課業上的壓力，特別感謝芳瑜、禎琳、高高，不論是聊天或分享心情，你們總是能溫暖我的心，有你們大家真好。

最後要感謝我的家人，謝謝爸爸媽媽讓我衣食無憂的專心完成學

業，並時常開導我的觀念及未來規劃，讓我的人生旅途不會迷失，是非黑白對與錯謹記在心。謝謝常常撈叨的小阿姨，讓我在外念書能有一個溫暖的家，三餐生活不用愁，也要謝謝我的姐姐，總是讓我記得我何時要順利畢業，心情鬱悶有事情，總是能替我解決分憂。謝謝你們，我愛你們！

將此論文獻給一路陪伴幫助我的人，謝謝你們，祝平安順心



吳東睿

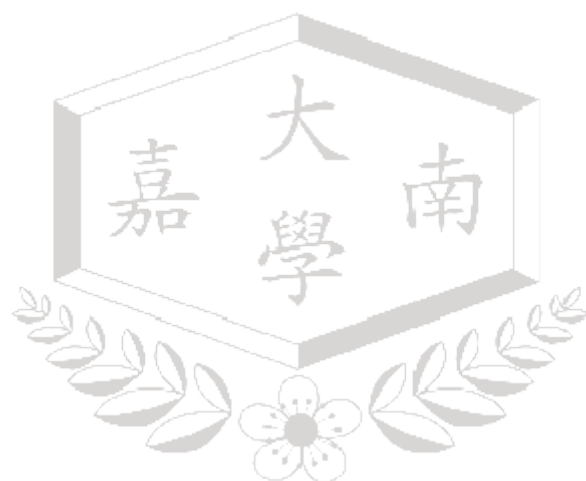
謹誌於嘉藥

2012 年 7 月

目錄

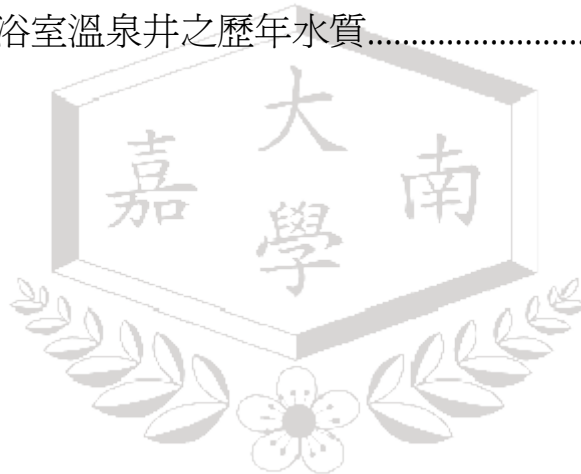
摘要.....	I
Abstract.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VII
圖目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究動機.....	2
第二章 四重溪溫泉區背景資料.....	3
2.1 溫泉井概況.....	3
2.2 地質水文概況.....	7
2.2.1 地層與岩性.....	7
2.2.2 可能提供溫泉補注及湧出之地質構造.....	12
2.2.3 四重溪溫泉之生成與熱儲模式.....	16
2.2.4 四重溪溫泉地區域地質模型.....	17
2.2.5 岩層及孔隙率.....	20
2.3 歷年降雨量.....	24
第三章 實驗材料、設備及方法.....	26

3.1 溫泉監測設備.....	26
3.2 現場採樣設備.....	27
3.3 實驗室分析.....	32
3.3.1 實驗設備.....	33
3.3.2 分析方法.....	33
3.4 實驗架構.....	35
第四章 分析結果與討論.....	37
4.1 現地資料.....	37
4.2 水位與水溫.....	40
4.2.1 縣府一號井.....	40
4.2.2 縣府三號井.....	41
4.2.3 大山農場.....	42
4.2.4 南台灣飯店.....	43
4.2.5 新龜山旅館.....	44
4.2.6 景福旅館.....	45
4.2.7 洺泉旅館.....	46
4.2.8 公共浴室.....	47
4.3 水質.....	52
第五章 結論.....	64



表目錄

表 2.1.1	四重溪現有溫泉井基本資料.....	6
表 3.1.1	監測井共 8 口(水位為井口下).....	26
表 3.1.2	監測儀器規格.....	27
表 4.1.1	現地測量數據(縣府一號井及三號井為監測井).....	37
表 4.3.1	公共浴室井 2007-2011 年之導電度等數據.....	55
表 4.3.3	混和比例推算.....	60
表 4.3.4	公共浴室溫泉井之歷年水質.....	61



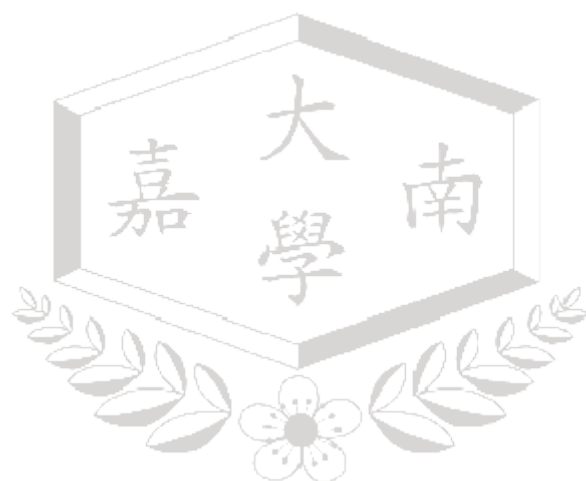
圖目錄

圖 2.1.1	四重溪地區之溫泉井分布之位置.....	5
圖 2.2.1	恆春半島地質附圖幅.....	8
圖 2.2.2	恆春半島地質附圖.....	9
圖 2.2.3	區域地質剖面附圖.....	15
圖 2.2.4	四重溪溫泉形成機制模式示意圖.....	17
圖 2.2.5	四重溪溫泉地質解釋.....	19
圖 2.2.6	四重溪溫泉區附近之地質附圖及剖面圖.....	21
圖 2.2.7	地電阻剖面圖.....	22
圖 2.2.8	石門層砂頁岩之破裂孔隙.....	23
圖 2.3.1	石門雨量站歷年(1990~2001)月平均雨量柱狀圖.....	24
圖 2.3.2	恆春氣象站歷年(1998~2008)月平均雨量柱狀圖.....	25
圖 3.1.1	公共浴室自動傳輸監測站之看板與儀器.....	27
圖 3.2.1	加拿大 RST VW2100 監測儀.....	29
圖 3.2.2	TrtraCon 導電度計.....	29
圖 3.2.3	手提式水位計.....	30
圖 3.2.4	貝勒管.....	30
圖 3.2.5	Myronl Company Ultrameter III 9P 之檢測儀器.....	31
圖 3.3.1	感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS).....	32

圖 3-3-2	離子層析儀(IC).....	33
圖 3-4-1	實驗架構圖.....	36
圖 4-2-1	縣府一號井之水位與..水溫數據.....	41
圖 4-2-2	縣府三號井之水位與水溫數據.....	42
圖 4-2-3	大山溫泉井之水位與水溫數據.....	43
圖 4-2-4	南台灣井之水位與水溫數據.....	44
圖 4-2-5	新龜山旅館井之水位與水溫數據.....	45
圖 4-2-6	景福旅館井之水位與水溫數據.....	46
圖 4-2-7	洺泉旅館井之水位與水溫數據.....	47
圖 4-2-8	公共浴室井之水位與水溫數據.....	48
圖 4-2-9	2008 年 6 月之降雨與「公共浴室」井水位之比對.....	49
圖 4-2-10	公共浴室水位變化與降雨之關係.....	51
圖 4-2-11	2009 年 88 風災與公共浴室水位變化之關係.....	51
圖 4-2-12	2011 年 831 南瑪都風災與公共浴室水位變化之關係.....	52
圖 4-3-1	比導電度之平面分布.....	53
圖 4-3-2	採樣點與比導電度剖面分布.....	54
圖 4-2-3	公共浴室井 2007-2011 年之導電度變化.....	56
圖 4-3-4	地面水與溫泉水之主要離子成份比例.....	59
圖 4-3-5	四重溪溪水之導電度.....	59

圖 4-3-6 2011 年四重溪溪水之導電度.....60

圖 4-3-7 四重溪溫泉之循環模式.....63



第一章 緒論

1.1 前言

溫泉開發歷史悠久，我國古代人民在地圖上凡記載有湯、塘、暖、溫熱等，意即該地可能有溫泉分布。台灣地區地質條件特殊且雨量豐沛，利於溫泉的形成，多處都有溫泉的分布。溫泉具有觀光休閒、農業栽培、地熱發電等功能，適當的開發利用能促進國家經濟、觀光發展。早期溫泉法規、相關配套措施較不完善，各家業者競相開發造成溫泉水位下降或品質劣化，部分知名溫泉地區溫泉資源供不應求，隨著國民生活品質提升以及政策性推動國內觀光發展，泡湯以為國內休閒風潮主流。然而久遠的開發利用歷史，造成部分知名溫泉地區之溫泉資源供不應求，尤其在旅遊旺季及乾旱季節。

「溫泉法」明訂，為保育溫泉資源，應設立溫泉監測站。於溫泉使用率較高之四重溪溫泉地區，建置溫泉監測系統，依其監測資料(水位、水溫、導電度及 pH 值等)並配合溫泉使用情形調查。

溫泉之所以珍貴，在於其特殊之溫度與成分，而其隨取用量之時變性及季節不同有所變動，需經溫泉監測並進行相關水力試驗，進行長期觀測，方能確切掌握泉溫、泉質與泉量之情形，並據以確實推估溫泉水資源蘊藏量。

1.2 研究動機

四重溪溫泉區的開發歷史能追溯到日據時期，開發歷史悠久，長時間的開發、使用，造成整個溫泉水量的降低，早年四重溪溫泉還有露頭湧出溫泉，但近年因溫泉井大量開發，目前已無自然湧出的溫泉，且地下水位日漸下降，可能已達地面下100m，這為四重溪溫泉區未來發展帶來隱憂。

水位、水質可能會隨著降雨、淺層地下水的混入、不同的季節或地下水抽用型態不同，會有短期或長期的變化。為永續利用溫泉資源，必須先要了解當地溫泉資源的概況，地下水永續利用的基本定義為：「補注量及抽用量達到平衡，使地下水位能維持穩定、不持續下降」。所以在此區設立監測站，觀察各溫泉井的水位、水質各項的變化，以便了解四重溪地區溫泉的使用狀況。本研究為主要針對四重溪地區溫泉水位、水質進行探討，建立各監測點的水位、水質之年變化趨勢圖及探討水位、水質、雨量三者間相互關係，觀察水位下降的趨勢，以提供本區溫泉水資源永續利用及總量管制之參考。

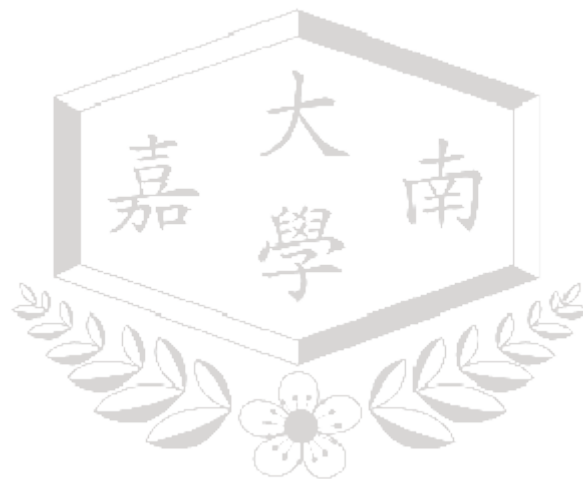
第二章 四重溪溫泉區背景資料

2.1 溫泉井概況

四重溪溫泉區位於屏東縣，分布於四重溪西側河谷之河階上，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。原先有一處溫泉露頭，但因溫泉井抽用過度，目前已無湧泉。至今年2012年止，四重溪溫泉區共有溫泉井21口，其深度最深約550m、最淺約100m（表2.1.1），分布於南北約600m、東西約600m的區域內，兩井間距離約50至100m、最近者可達20m（圖2.1.1）。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。

本區溫泉井深度最深為縣府1號井，深550m，最淺為南台灣大飯店的軍方用井，深度100m。若再與溫泉井完工時間做比較，1999年的溫泉井有5口井之井深於200m以下，3口深度於200~300m；2000年完工之溫泉井井深則在300m~405m；2001年完工之溫泉井井深則在300m~350m；2003年完工之溫泉井深則在360m~400m；2008年完工之溫泉井井深則在500m~550m，顯示出溫泉井的深度隨著完工時間愈晚，井的深度也愈深。井深深度的增加，意味著淺層的溫泉井愈來愈抽不到水，故業者開始抽取更深層之溫泉水。

本區除了 2008 年完工之縣府 1 號及 3 號井缺少資料外，溫泉井其抽水馬達之馬力在 5~15HP 之間。南台灣大飯店、玉泉寺前、瀑布前 3 口井其馬達馬力皆為 5HP，其他溫泉井除了茴香戀戀井之馬力為 15HP，馬達馬力皆為 10HP，而地下水井之馬力皆為 5HP。再與完工年份相對照後發現，馬力較低的水井皆為 1999 年完工，顯示出業者為供應充足的溫泉水，使用較大馬力抽水。



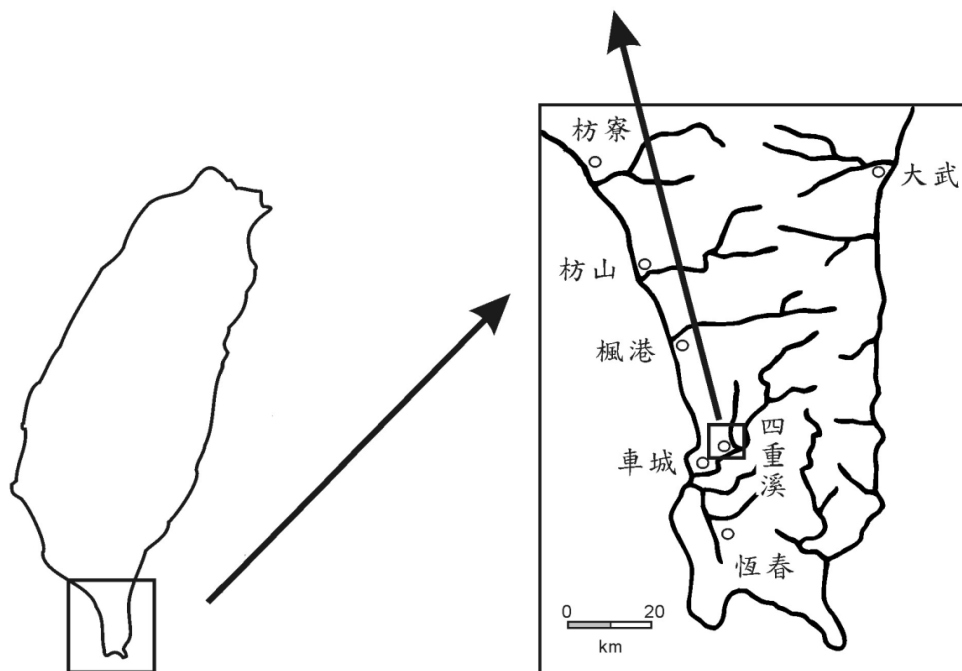
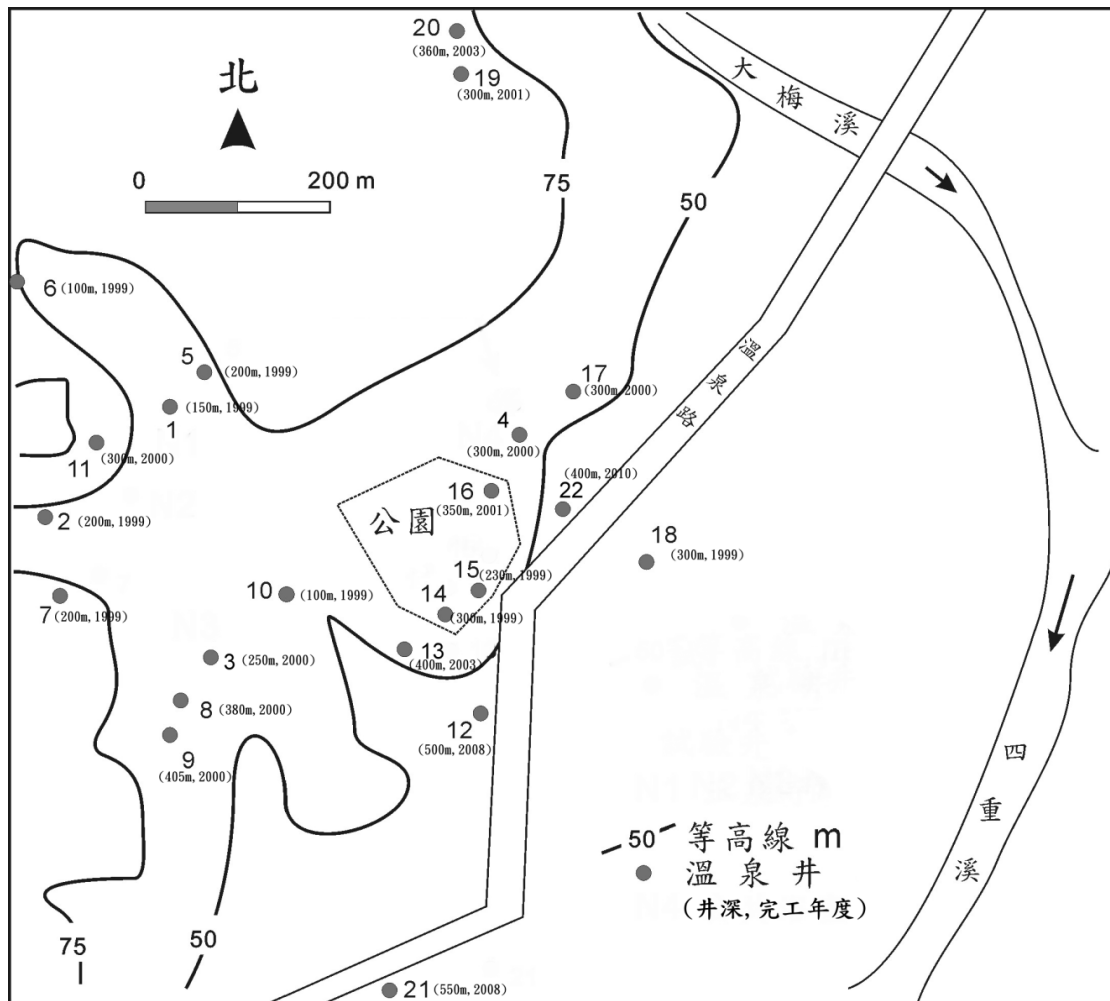


圖 2.1.1 四重溪地區之溫泉井分布之位置

參考資料:四重溪溫泉資源監測調查計畫(2011)

表 2.1.1 四重溪現有溫泉井基本資料

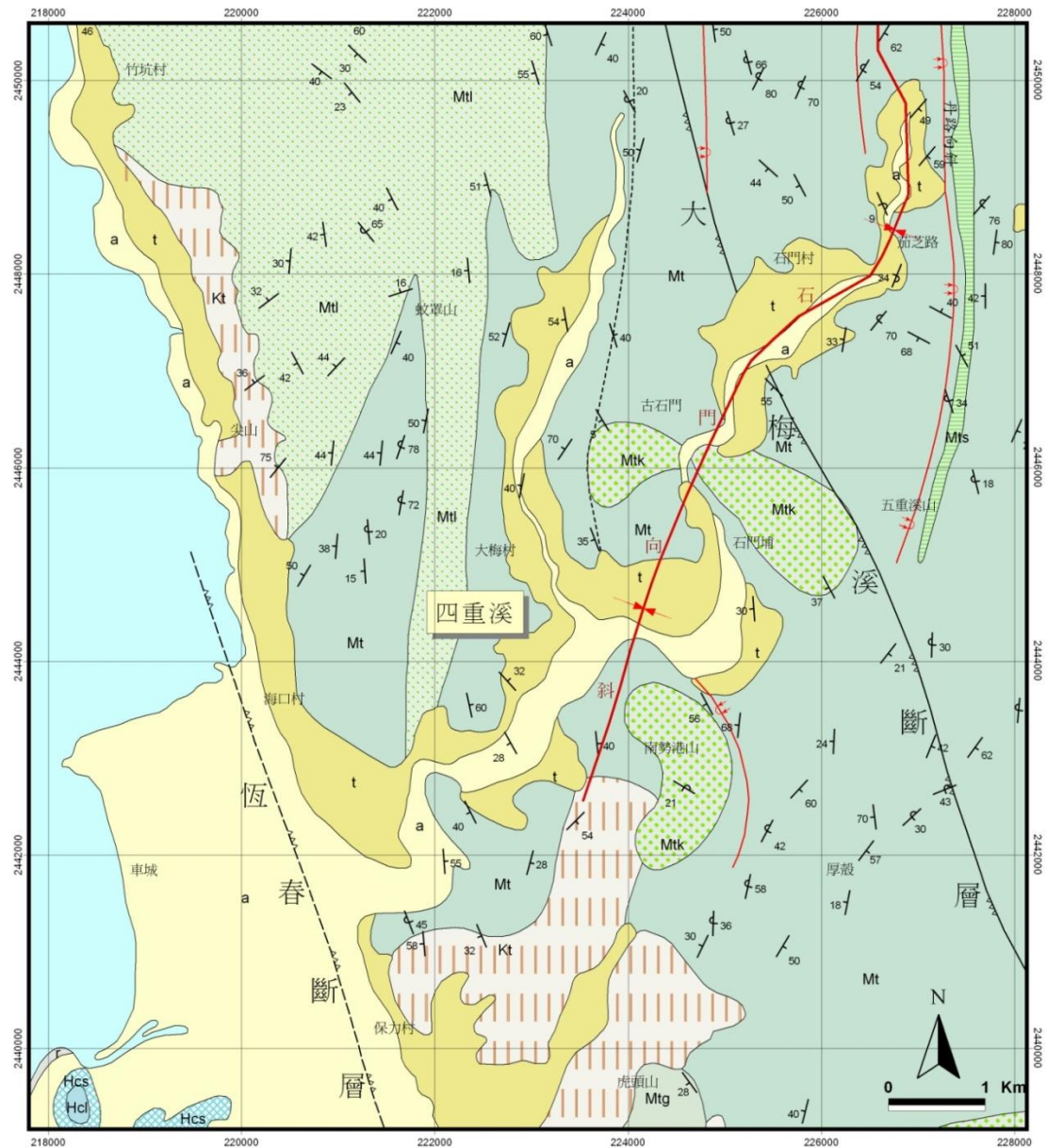
編號	井 名	馬達 馬力 (HP)	井深 (m)	井管 直徑 (in)	抽水 管 直徑 (in)	完工 日期	備註
1	「玉泉寺旁」井	-	150	5	2	1999	南台灣大飯店封井
2	「瀑布前」井	7.5	200	5	1.5	1999	供南台灣大飯店使用
3	「董先生」井	10	350	6	2	2000	供南台灣大飯店封井
4	公共浴室井	10	300	6	2	2000	供公共浴室用
5	「電台」旁井	-	200	5	2	1999	南台灣大飯店封井
6	「瀑布後」井	-	100	5	2	1999	南台灣大飯店封井
7	「露天池邊」井	7.5	200	5	1.5	1999	供南台灣大飯店使用
8	董啟智(井 1)	10	380	6	2	2000	暫無使用
9	董啟智(井 2)	10	405	6	2	2000	暫無使用
10	四鼎溪賓館	7.5	400	6	2	2000	供四鼎溪賓館使用 (現暫停營業)
11	玉泉寺	10	300	6	2	2000	供玉泉寺使用
12	縣府 3 號井	-	500	9	2	2008	暫無使用(監測)
13	景福山莊	15	400	8	2	2003	供景福山莊使用
14	溫泉大旅社	7.5	300	6	2	1999	供溫泉大旅社使用
15	洺泉旅館	7.5	230	6	2	1999	供洺泉旅館使用
16	緣鄉溫泉餐廳	-	350	8	2	2001	廢井
17	清泉溫泉山莊	7.5	300	6	2	2000	供清泉溫泉山莊使用
18	新龜山別館	3	300	6	2	1999	供新龜山別館使用
19	大山溫泉農場	10	300	6	2	2001	供大山溫泉農場使用
20	茴香戀戀	15	360	8	2	2003	供茴香戀戀使用
21	縣府 1 號井		550	9	2	2008	暫無使用(監測)
22	陳世棟(N22)	-	400	8	2	2010	新鑿井未來供北緯 22 度使用

參考資料：四重溪溫泉資源監測調查計畫(2011)

2.2 地質水文概況

2.2.1 地層與岩性

四重溪與其附近地區的地層與岩性差異性很大，故目前對於此地區的部分地層分層及其解釋仍有不同的解釋方式。依中央地質調查所 1991 年出版之地質附圖（參見圖 2.2.1）資料顯示，本區主要地層包括晚中新世之砂頁岩層及晚更新世泥質墾丁層，前者因屬於大陸斜坡和斜坡底的沉積環境，因此岩相快速變化，夾有數個砂岩及礫岩凸鏡體，因此中央地質調查所 1991 年出版之地質附圖將此一岩層再細分出四個不同層位之岩段，分別命名為石門礫岩（Mtk）、樂水礫岩（Mtg）、獅子山砂岩（Mts）、里龍山砂岩（Mtl）。陳文山等人(2006)編製之最新恆春半島地質附圖（參見圖 2-2-2），則認為位於恆春半島東緣之樂水層，沿滿州斷層向西逆衝至晚中新世之砂頁岩層之上，因此將此一砂頁岩層序重新區分，將命名為石門層、及與石門層同時異相之獅子礫岩段及里龍山層。而原先於牡丹層之中夾有之石門礫岩，則被解釋為相當於墾丁層中之外來岩塊；而墾丁層則屬於泥質混同層，不整合覆蓋於晚中新世地層之上。依據陳文山等人(2006)之地層分類，各岩層特性分別說明如下：



現代沖積層	a	礫，砂，黏土	牡丹層	Mt	頁岩和薄砂頁岩互層，夾有厚層砂礫岩透鏡體
階地堆積層	t	黏土，砂及礫	里龍山砂岩	Mtl	厚層砂岩間夾礫岩
隆起珊瑚礁	r	珊瑚礁，砂及礫	獅子頭砂岩	Mts	砂岩，底部含礫
石灰岩	Hcl	顆粒石灰岩及黏結石灰岩	樂水砂岩	Mtg	厚層砂岩及砂頁岩互層
恆春石灰岩	Hcs	粉砂岩及泥岩	石門礫岩	Mtk	砂質礫岩
墾丁層	Kt	泥岩及各種外來岩塊			

推測斷層 (dashed line with arrows)

高角度逆斷層 (solid line with arrows)

倒轉向斜 (solid line with arrows)

向斜 (solid line with arrows)

圖 2.2.1 恆春半島地質附圖幅(中央地調所，1991)

恆春半島地質圖 (Geologic Map of the Hengchun Peninsula)

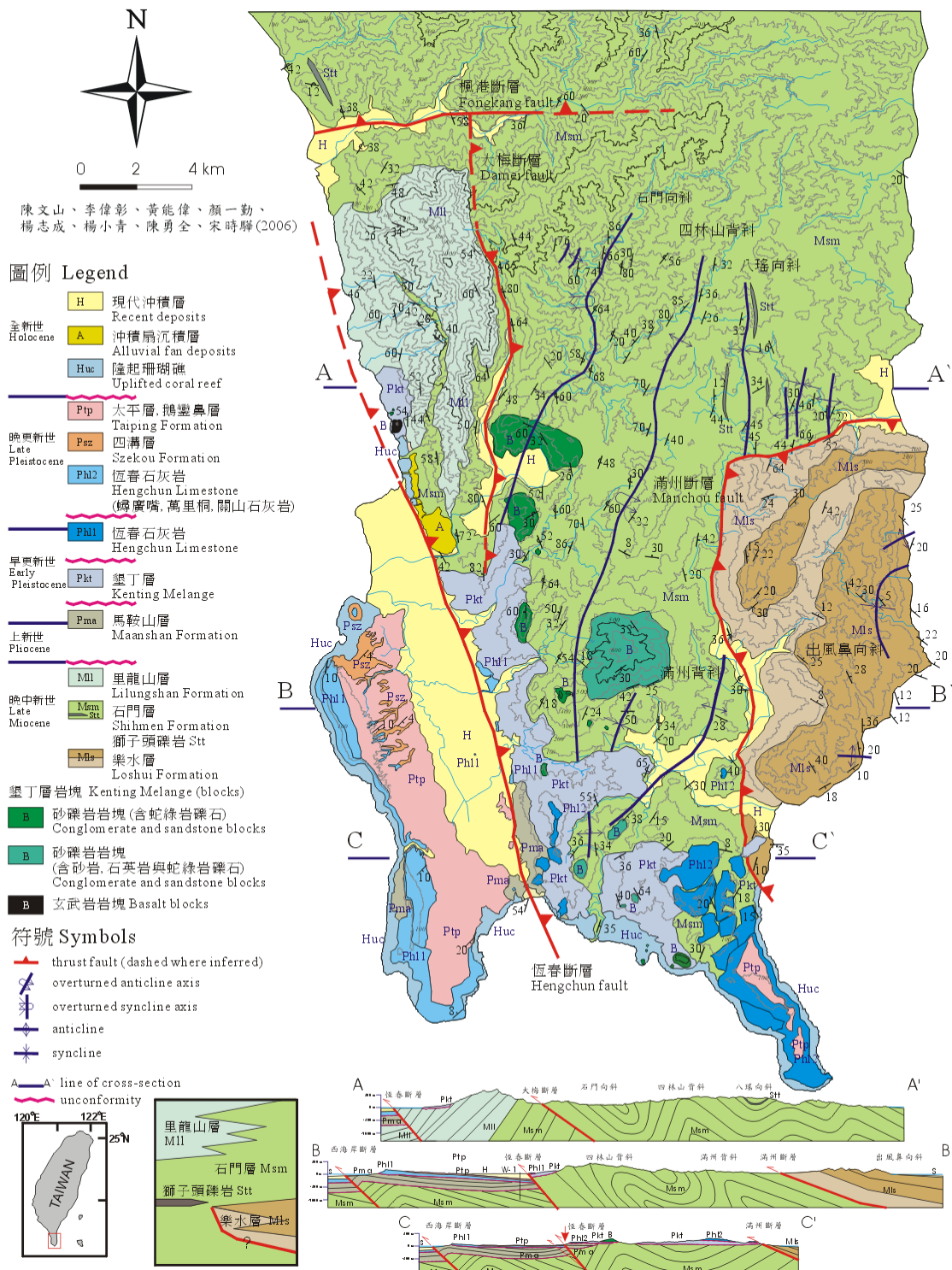
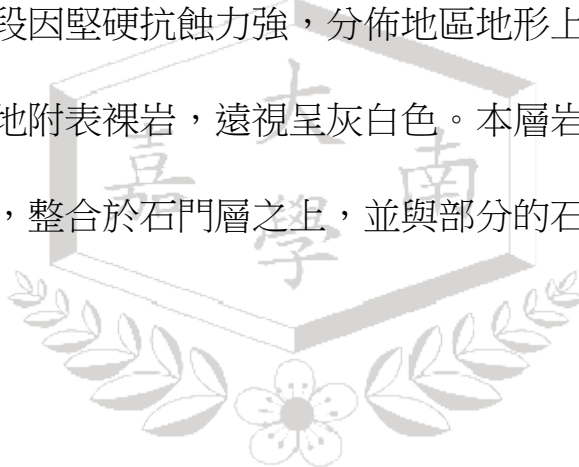


圖 2.2.2 恆春半島地質附圖(陳文山等，2006)

(1) 里龍山層

主要出露於四重溪溫泉區北方里龍山至蚊罩山一帶山脊的岩層，由於岩性較石門層硬，在里龍山山脈的東西兩側都是陡坡。岩性以厚層砂岩為主，偶而夾有砂頁岩互層或礫岩，具有兩次向上增厚與向上變粗為礫岩的層序。底部的砂岩組成成分屬於石英岩屑型，向上逐漸轉變為變質岩屑型的砂岩及礫岩。本層在里龍山北段最厚，可達一千公尺，向南減薄，並於四重溪溫泉區西北方山稜尾端向南尖滅。本砂岩段因堅硬抗蝕力強，分佈地區地形上發育出山脊及陡坡，並常造成地附表裸岩，遠視呈灰白色。本層岩性組成含陸源與海洋板塊物質，整合於石門層之上，並與部分的石門層呈同時異相關係。



(2) 石門層

石門層大致分布在四重溪以東、以南及里龍山山脈西側蚊罩山之間山稜脈以南的丘陵區，出露於牡丹鄉四重溪流域的石門至牡丹之間，本層岩性以暗灰色頁岩和薄砂頁岩互層為主，砂頁岩厚度至少在1000 公尺以上，夾有厚層的砂、霸岩凸鏡體，單層濁流岩的厚度約5-30 公分，砂岩與頁岩的比率大約4：1~5：1。石門層底部有一砂霸岩層稱為獅子頭霸岩段，厚度大約數公尺。石門層中下部夾有一霸岩

層，稱為石門霸岩段，本岩段含有大量的火成岩屑和變質岩屑；此岩段霸岩中含有屬於蛇綠岩系的霸石，以及少量的石英砂岩、石英岩、泥灰岩、片岩和超基性的次圓霸，最大厚度約五百公尺，主要分佈於四重溪中、上游段的石門峽谷及其兩側，另外在四重溪溫泉區附近的南勢港山，恆春附近的老佛山以及懇丁附近的馬門羅山，大山母山等地也都有石門霸岩段的分佈，因岩質堅硬常分佈於陡峭山嶺。

(3) 墾丁層

主要分佈於四重溪南方的丘陵區及大梅溪下段的山壁及平原區。墾丁層為一混雜無沉積層序的岩層，以泥岩為主，其中夾雜各種大小不一不同岩性的岩塊，種類計有砂岩、砂頁岩互層、礫岩、玄武岩、玄武岩質角礫岩、尖晶石岩與輝綠岩等（Page and Lan, 1983）。在岩性上以泥岩為主，基質泥中具有鱗片狀片理，但片理面方向不一，間雜許多大小及岩種不一的岩塊，多呈惡地地形，尤其在風化侵蝕作用後，留在地附表上形成獨特景觀。墾丁層產狀屬於沉積作用的傾瀉層（Page and Lan, 1983；陳文山等，1985），早期為隱沒帶或碰撞帶中構造作用形成的混同層，之後崩積於西側增積岩體之上。墾丁層成因是晚期更新世弧陸碰撞過程位於碰撞帶混同層物質被推擠到增積岩體上堆積的傾瀉層，因而野外所見以不整合接觸在晚期

中新世里龍山層、石門層之上（陳文山，1992）。

(4) 山麓沖積扇、階地及河床沖積層

在大梅溪的西側及四重溪的兩岸常有部份山麓沖積扇發育，主要由緊鄰山坡地所沖蝕下來的岩屑、岩塊及泥、砂等所組成。河床現代沖積層指泥、砂、霸石等堆積在河道及洪泛區上所形成，主要分佈於四重溪及大梅溪之河道及兩側。階地堆積層指海拔較洪泛區高之低平地，為以往河道泛濫之充填物，由泥、砂、霸石及岩屑組成本，河道沖積層、階地堆積層及山麓沖積扇堆積均以不整合關係覆於基盤岩層之上。本區階地及洪泛區之高差不大，常呈漸變關係，而階地在大梅溪及四重溪兩岸分佈面積廣，為主要村落及農耕所在地。

2.2.2 可能提供溫泉補注及湧出之地質構造

文獻中記載於四重溪溫泉附近地區主要有關地質構造包括恆春斷層、滿州斷層、大梅斷層以及大梅溪斷層，如宋國城(1991)與陳文山等人(2006)。其中恆春斷層與滿州斷層距離較遠，大梅斷層則通過四重溪溫泉露頭附近，大梅溪斷層則無地表露頭出露，主要由地層判定而來，屬存疑之斷層。另外，本區岩層內之沉積環境屬

不穩定的深海大陸斜坡及坡底環境，沉積崩移構造如中小型褶曲、滑動、水道切蝕及充填、滑動剪切等發達，但由於各種構造與原生構造裂隙都被後來之固結岩化過程所膠結癒合，其對現今地層之滲透率及地下水之流動判斷不致有明顯影響。

(1) 層理面、節理及剪裂帶

石門層及里龍山砂岩中之層理面一般作北東、北西或近南北走向，以中至高角度向東或西傾斜為主。層理在接地表附近或陡坡上因風化或斜坡重力潛移等因素會有傾動或張裂現象，形成地表淺層地下水入滲重要孔隙，但愈往下深處此種層理越趨閉合，因此對深部地下水之流通較不具意義。由野外露頭的觀察結果得知，本地區岩層內並未普遍發育成規則性節理，部份露頭顯示有兩組節理，唯延伸長度有限，且均屬閉合或微小開口，對淺部地表水下滲有利，但對深部岩層之地下水流動並無影響。值得注意的是部份可能沿主要斷層面剪切的剪裂帶延伸長度及深度較大，其所造成的高滲透率可能為深部地下水流通重要管道。

(2) 恆春斷層

根據地質文獻(中央地調所, 1991)及區域地質附圖(陳文山等,

2006) 顯示(參見圖2.2.1, 2.2.2所示), 位於四重溪溫泉之西方調查區外有一南北延伸之恆春斷層通過, 此斷層約通過恆春西台地與其東方丘陵之間的河谷平原, 它可能是北方屏東平原東緣的潮州大斷層的南延部份。因為第四紀地層的覆蓋無法直接觀察。恆春斷層可能向東作高角度傾斜的逆斷層, 此斷層可能在紅土礫石層沈積後尚繼續活動, 使恆春西台地向東作傾動作用。本斷層東距四重溪溫泉區約3公里。

(3) 大梅斷層

此一斷層主要通過大梅溪河谷附近, 露頭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, 宋國城等人(1991)認為可能為大梅溪斷層的另一分支斷層, 並將之命名為大梅溪 A 斷層。此分支斷層沿著大梅溪河谷東側向南穿越四重溪到達保力溪, 另一處露頭則在距大梅村北方約 15 公里的大梅溪河床東側, 斷層帶寬約 8-10 公尺, 內充滿斷層泥及摩擦角礫, 此露頭由於河流的攻擊侵蝕而崩垮露出。此外, 在大梅溪與四重溪會流口處的四重溪南岸發現了寬達十餘公尺的斷層泥及摩擦角礫帶, 顯示有一極寬之斷層帶通過。故陳文山等人(2006)推測連續以上兩斷層露頭點有一處呈南北延伸(沿大梅溪溪谷)之斷層通過, 並命名為大梅斷層。

(4) 存疑之大梅溪斷層

根據宋國城等人（1991）之研究，大梅溪斷層北自楓港溪斷層南側開始，向南切過大梅溪河谷，經厚穀、滿州西側直至啞狗路海岸。此斷層為一高角度逆斷層，斷面向西傾斜，其西側上盤相對上昇。此斷層之認定主要是在斷層的西側出露較老的石門礫岩，而其東側出露較新的地層，但野外現場尚無斷層露頭直接證據，屬存疑之斷層。在陳文山等人(2006)所繪製之恆春半島地質附圖中，並未標示此一斷層之存在。

(5) 地質構造

四重溪溫泉附近地區主要有關地質構造包括恆春斷層及大梅溪斷層，其中恆春斷層距離較遠，大梅溪斷層則在基地附近，此外計畫區下方也有小型未確認之小斷層或破碎帶通過，參見圖 2.2.3。

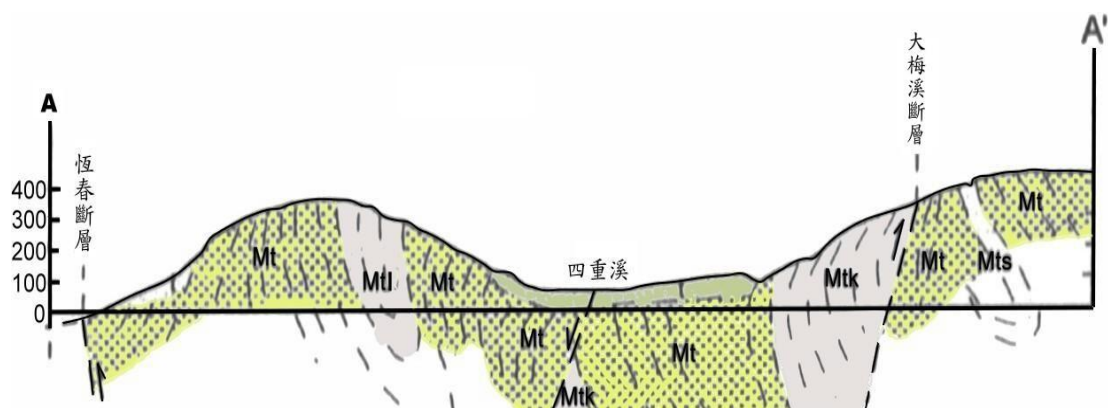


圖 2.2.3 區域地質剖面附圖(工研院能資所，2002)

2.2.3 四重溪溫泉之生成與熱儲模式

本區及周圍地區地形不高，從已知的地質資料研判，也沒有晚近之岩漿侵入或火成活動，因此火成活動提供的熱源機會也不大。較有可能的熱源來源為斷層活動提供溫泉熱源，一般認為當斷層活動時，上、下盤互相擠壓摩擦而生熱，以致有異常高的地溫梯度，地下水循環至斷層帶時受到加熱並儲存匯集，再循裂隙上升而造成本地區之溫泉。根據探勘資料所推估之地溫梯度，本區地溫梯度可達約 $6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，高於一般沉積岩地區之 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。而由地球化學/地質溫度計資料推估，本區溫泉之生成溫度約在 $82\sim 86^{\circ}\text{C}$ 以上，若由本區地溫梯度資料推算，本區熱水循環之深度應在 $900\text{m}\sim 1000\text{m}$ 以上。

因此本區之溫泉生成模式可以簡要說明如圖 2.2.4。地面水主要由位於大梅溪河谷上游之大梅斷層剪裂帶入滲補注，因兩側之膠結良好的中新世砂頁岩層的封閉而造成侷限之地下水體含水層，此含水層之層位與走向則沿大梅斷層面以高角度向東傾斜，經地附表補注入滲之地下水向下流經大梅斷層破碎帶，受到斷層帶異常高的地溫梯度（斷層餘熱，約 $6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）的加熱後，再循岩層之剪裂帶裂隙上升，本區熱水循環之深度約在 $900\sim 1000\text{m}$ 以上，湧出過程溫泉由於混入近地附表淺部循環枝較冷地下水而降低溫度至約 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，湧出之熱水於四重溪溫泉區附近山麓平原接壤附近地形較低處冒出，形成本地區地附表溫泉露頭。

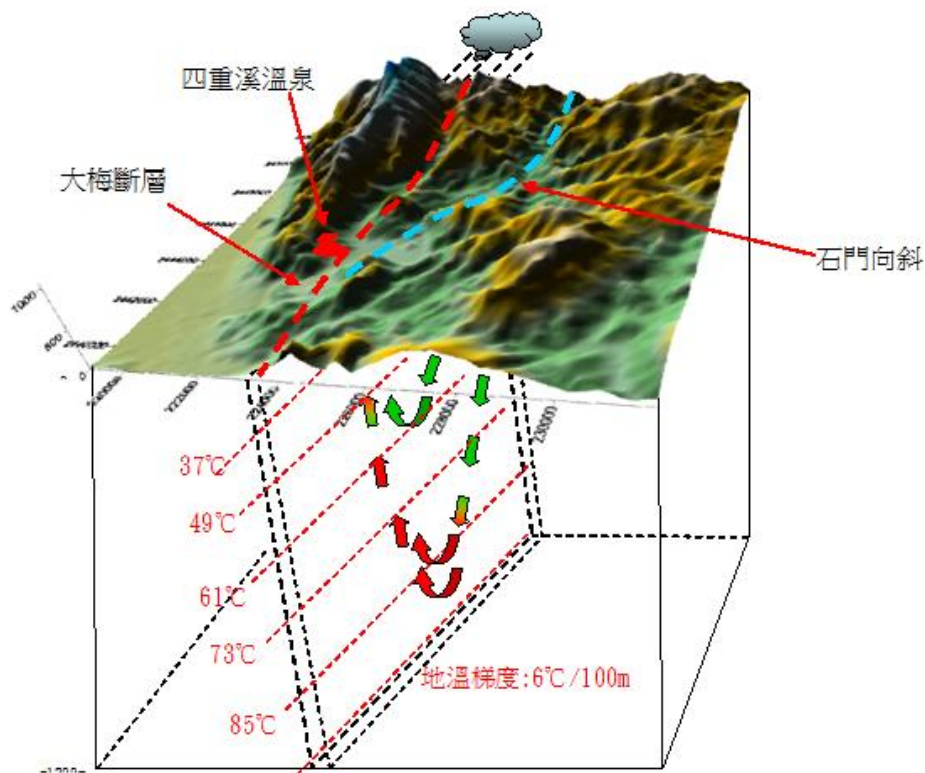


圖 2.2.4 四重溪溫泉形成機制模式示意圖
(嘉南藥理科技大學，2008)

2.2.4 四重溪溫泉地區地質模型

四重溪溫泉屬於沈積岩區溫泉，溫泉水呈弱鹼性，水溫約 60 度。依前段之敘述，本區溫泉形成之條件應包含合適的地層岩性及地質構造以提供地下水補注、循環、儲存、加熱及上升管道，以及適當的熱源或較高之地溫梯度以加溫地下水，方能形成可利用之溫泉。經現場調查結果，目前所有開發之溫泉井及以往溫泉露頭皆位於四重溪及其及支流大梅溪會流口處之西側靠近里龍山山嶺之東南端山麓與河谷

沖積平地之接壤地帶，根據地球物理探測之結果顯示其均位於大梅斷層帶上，因此可初步推測溫泉之形成與大梅斷層構造帶有極密切的關係。

從岩層分佈及岩性特徵來看，大梅斷層西側之里龍山砂岩主要分佈於里龍山山脊部位，呈南北延伸，岩層向南減薄並於四重溪溫泉區西北方山脊尾端尖滅，而層理大多數以高角度向東或向西傾斜。里龍山砂岩之上、下（東西兩側）均為石門層之頁岩及薄砂頁岩互層所圍限。過去曾認為里龍山砂岩可能為本區溫泉入滲來源，但因本區岩層為具良好膠結之中新世岩層，難以提供地下水入滲通道，而由地電阻探測之低地電阻區域判斷，僅顯示有較發達之裂隙發展於沿大梅溪呈南北走向之大梅斷層帶上，而非里龍山砂岩之出露區域，因此根據各種資料判斷里龍山砂岩作為溫泉水之入滲來源之可能性低。

另從地質構造走向可知，大梅斷層之斷層破碎帶可提供地下水儲存及流通之管道，以國外之研究，發現固結岩區溫泉之來源多來自天水沿上游入滲區域斷層面裂隙通道入滲，經地溫加熱至一定溫度之後，再由同一斷層面之下游其他裂隙通道湧出，或沿與入滲斷層面交錯之其它斷層面或岩性不整合面湧出，形成溫泉。考慮四重溪溫泉地區之岩性主要以石門層之砂頁岩為主，岩性一般緻密不透水，加上附近其他斷層並未於探測深度內與大梅斷層交錯，故推測地下水主要儲存及

流通於大梅斷層帶裂隙及斷層破碎帶，大梅斷層地附表出露部份由於岩層圍壓降低而呈現花狀構造，深度小於 400m 之大梅斷層裂隙帶以東北西南走向為主，在此一區域分為兩個主要群落分佈。一在四重溪以北沿大梅溪西側一帶，另一在四重溪以南接近三軍聯訓基地附近。而本區四重溪溫泉露頭則位於第一處之裂隙帶中。深處之大梅斷層裂隙帶則較為連續，主要呈南北走向，與大梅溪河谷走向一致。以此研判第一處之大梅斷層裂隙帶為主要溫泉湧出裂隙通道，地下水之儲量規模並不大。以此判斷建立之四重溪溫泉地質模型如圖 2.2.2：

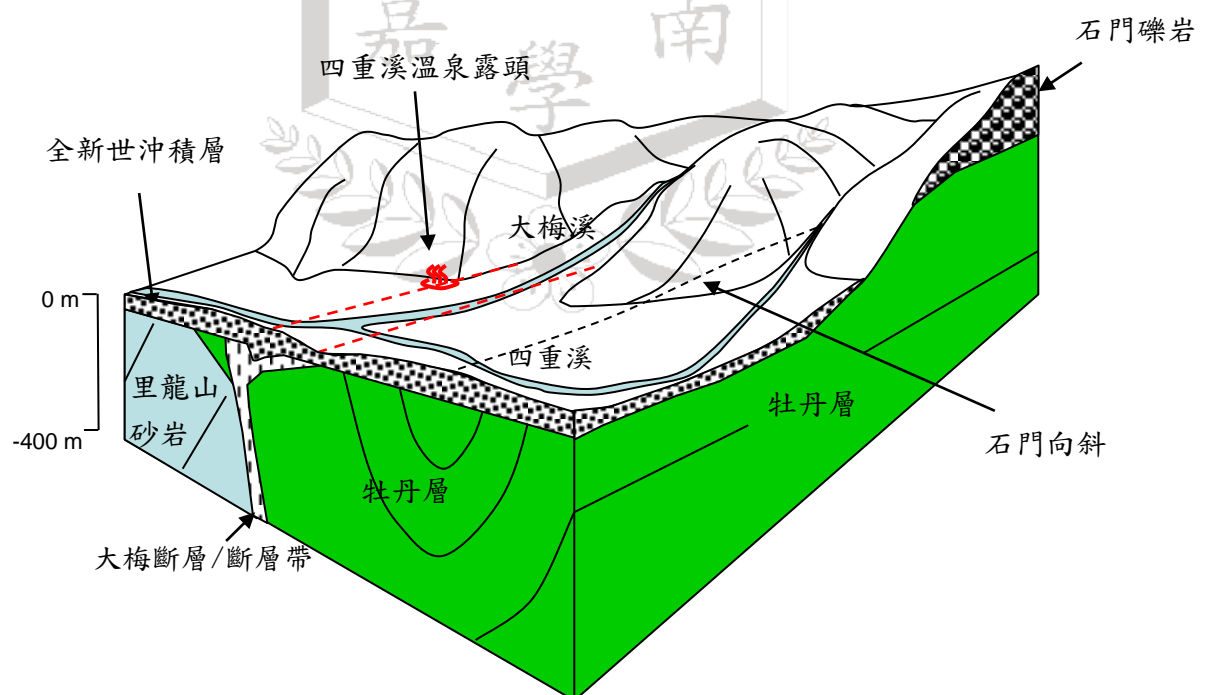


圖 2.2.5 四重溪溫泉地質解釋(嘉南藥理科技大學，2008)

由以上各項地質資料及溫泉生成模式似可獲致下列結論：

- a. 大梅斷層以東地區不具溫泉生成條件。

- b.以大梅溪斷層帶上最具溫泉生成潛能，也就是現今四重溪溫泉區及大梅村西側山麓地帶最具探獲溫泉機會。
- c.溫泉總儲水量規模不大。

2.2.5 岩層及孔隙率

四重溪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）。岩石特性為砂頁互層，岩層走向為北西、北東或近南北向，以中至高角度向東或西傾斜為主（圖 2.2.6）。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 8m-10m，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的通道。

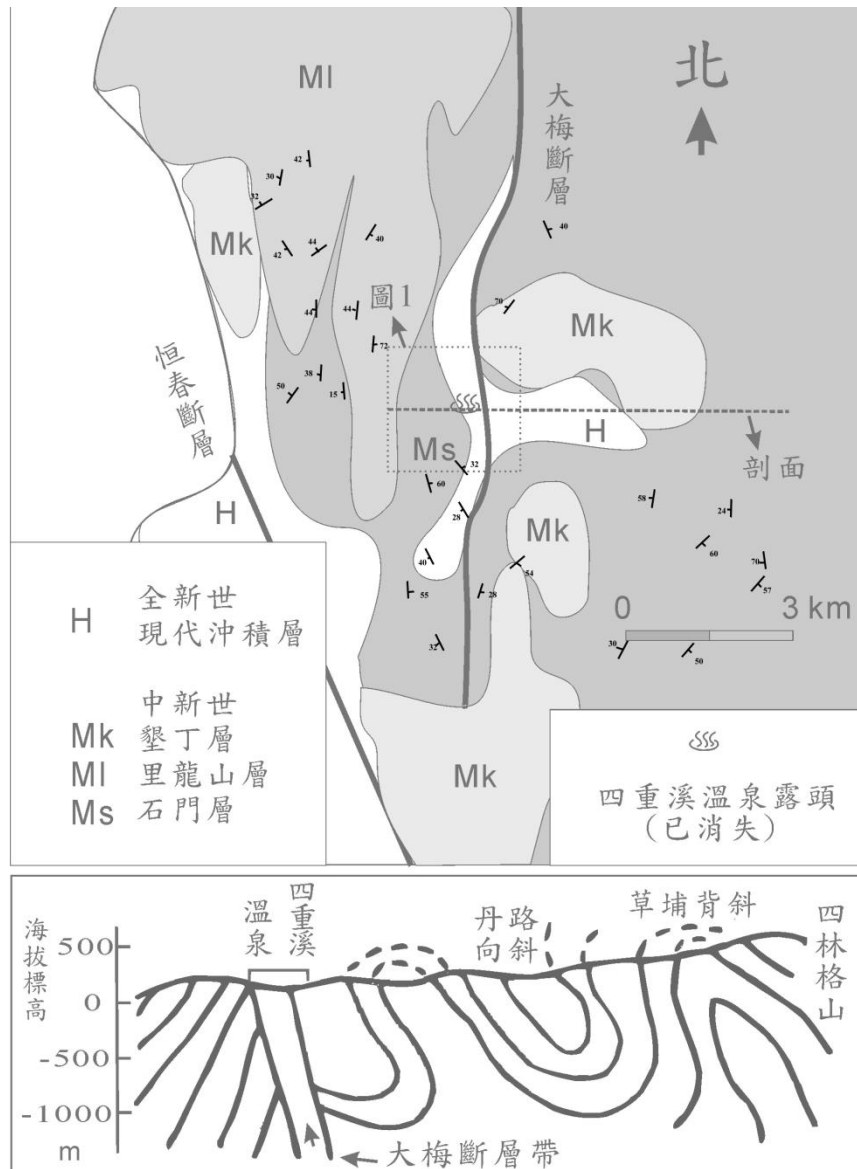


圖 2.2.6 四重溪溫泉區附近之地質附圖及剖面圖（陳文山，1992）

大地電磁法的地電阻剖面顯示在深度 100m—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 2.2.7）。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 400m—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附表溫泉儲集層，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）。

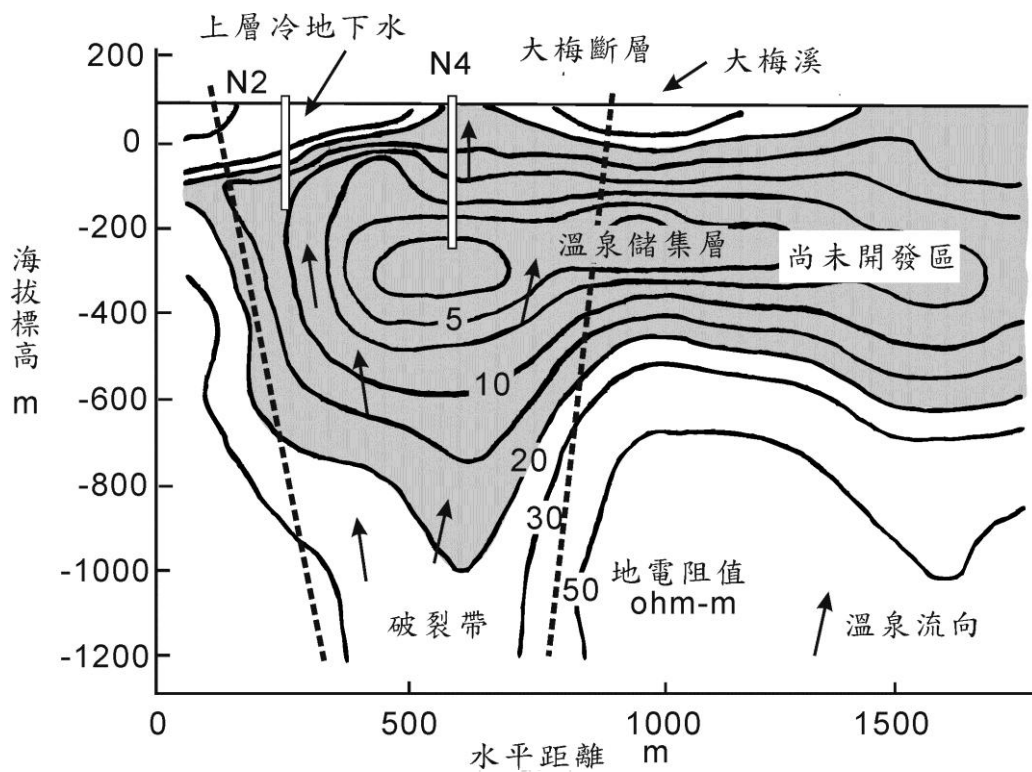


圖 2.2.7 地電阻剖面圖（陸島工程顧問，2004）

水文地質概況有兩項重點：(A) 破裂孔隙率的調查；(B) 淺層地下水與溫泉之關係。溫泉水流動於岩層的破裂帶，其孔隙率稱為「破裂孔隙率」（fracture porosity）。理論上「破裂孔隙率」與破裂帶的寬度（opening）與間隔（spacing）有關（Nelson, 2001）。四重溪地區的石門層砂頁岩破裂面很發達（圖 2.2.8），大都垂直地層層面，在公共

浴室原溫泉露頭邊，可觀察到中砂岩的破裂帶的寬度約為 0.5cm、間隔約 10cm，其理論破裂孔隙率約為 3%；細砂岩的破裂帶的寬度約為 0.1cm、間隔約 2cm，其理論破裂孔隙率約為 15%；頁岩則被許多更密的破裂面切過，估計破裂帶的寬度約為 0.05cm、間隔約 1cm，其理論破裂孔隙率約為 5%。若假設中砂岩、細砂岩與頁岩的厚度比例各為三分之一，則本區溫泉含水層的破裂孔隙率約為 8%。



圖2.2.8 石門層砂頁岩之破裂孔隙

2.3 歷年降雨量

經濟部水利署於牡丹鄉內、四重溪之上游設置石門雨量站，長期觀測此地區之降雨情形。而石門雨量站則是最接近四重溪地區的雨量站。根據石門雨量站之統計，1990 年至 2001 年的平均降雨量約為 2600 公釐以上，降雨季節集中在每年的 6 到 9 月，而每年 10 月至隔年 5 月為乾季，雨量稀少（圖 2.3.1）

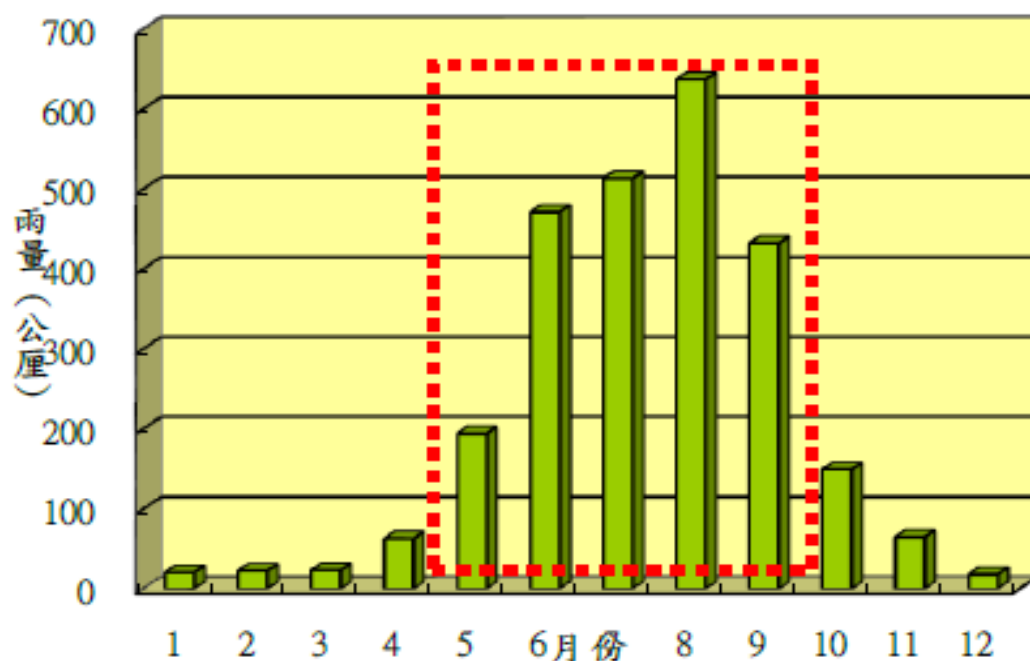


圖2.3.1 石門雨量站歷年(1990~2001)月平均雨量柱狀圖

（資料來源，陸島工程，2003）

本研究所使用的雨量資料來自於恆春氣象站之資料，恆春氣象站自 1998 年至 2008 年平均年降雨量約為 2000 公厘，降雨大部分亦集中於 6 到 9 月，2008 年降雨量為 2004 公厘，雨量柱狀圖(圖 2.3.2)。

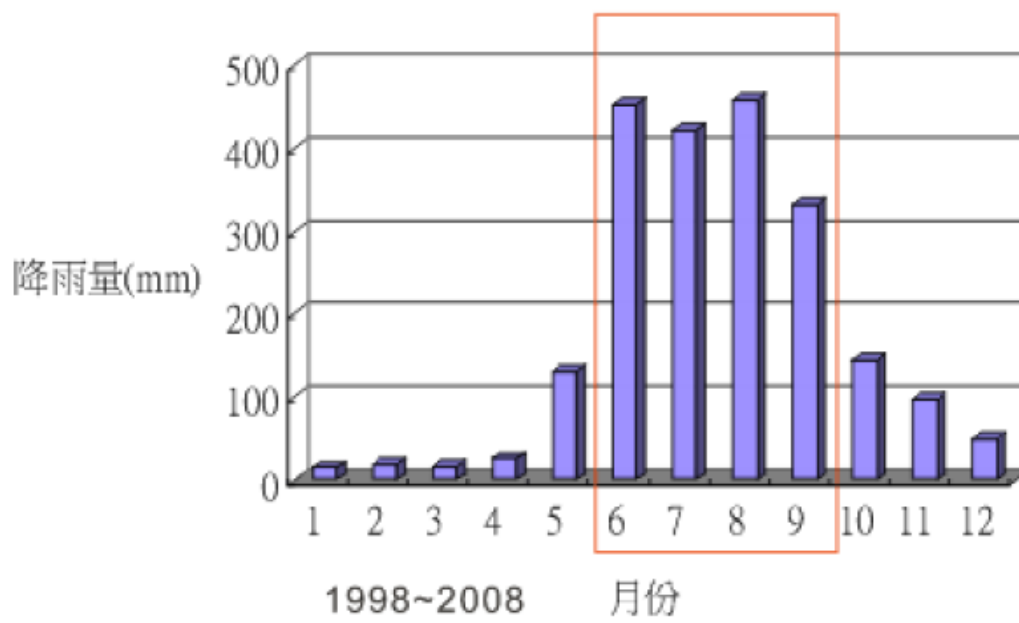
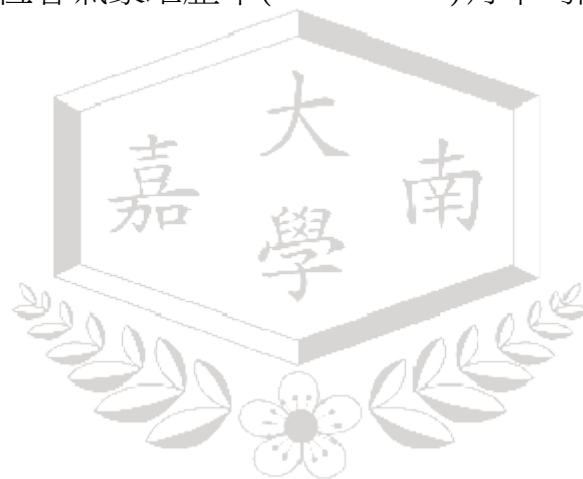


圖 2.3.2 恆春氣象站歷年(1998~2008)月平均雨量柱狀圖



第三章 實驗材料、設備及方法

3.1 溫泉監測設備

本研究有(1) 5口監測井，以自記式監測(水位、水溫)、每小時一筆數據，其中兩口為自動傳輸；(2) 3口監測井，以人工手動監測(水位、水溫、導電度及pH)、兩週1天、1天3次、每次間隔5小時。總共需監測8口：兩口自動傳輸井為公共浴室及洺泉井，；另6口井為大山、景福、縣府1號、縣府3號、南台灣及新龜山(表3.1.1)。

表 3.1.1 監測井共 8 口

地點	水位m	水溫℃	形式	儀器與量測
洺泉	40	30-60	生產井	自動傳輸：水位及水溫 (美國Schaevitz P900)；導電度及pH(德 國SEBA)
公共浴室	80	30-60	生產井	
縣府3號井	18	30-54	監測井	連續監測：水位及水溫 (加拿大 RST VW2100)；導電度及pH
縣府1號井	40	30-60	監測井	
大山	100	30-60	生產井	
南台灣	40	30-50	監測井	水位及水溫自動量測(加 拿大 RST VW2100)；導 電度及pH人工量測
新龜山	50	30-60	生產井	
景福	60	25-46	生產井	

(水位為井口下)

自動傳輸井的儀器以美國 Schaevitz 為主，其餘自記儀器皆為加拿大 RST VW2100 水壓與水溫二合一室測棒(表 3.1.2)。自動傳輸站，則經由 GMS 無線訊號，直接傳回資料中心之電腦，不需人工收取數據，但仍以手提水位計量測井內水位，以校正自記儀器之讀值(圖 3-1-1)。

表 3.1.2 監測儀器規格

品名	檢測項目	範圍	準確度	解析度	備注
美國 Schaevitz P900	溫度 水壓	0—80℃ 1—2500m	0.1℃ 0.1%	0.01℃ 0.02%	感測器與 記錄器分 離
美國 In-Situ Troll 500	溫度 水壓	-20—80℃ 3.5—351m	0.1℃ 0.25%	0.01℃ 0.005%	感測器與 記錄器合 併
加拿大 RST VW2100	溫度 水壓	-20—80℃ 3.5—1000m	0.2℃ 0.1%	0.1℃ 0.025%	感測器與 記錄器分 離

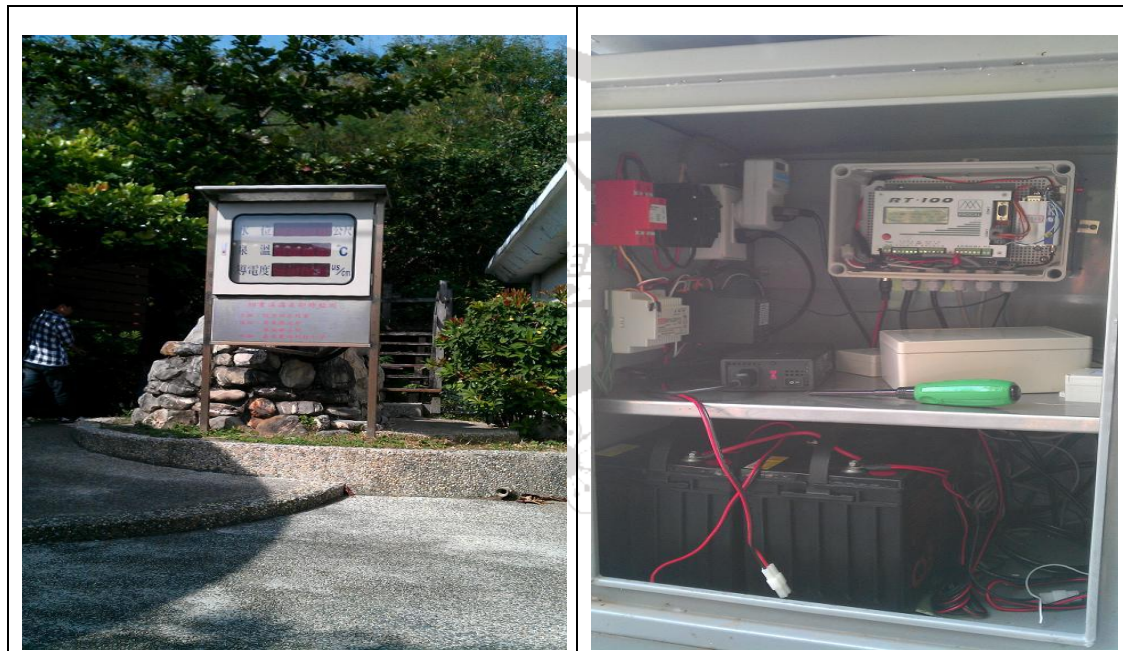


圖 3.1.1 公共浴室自動傳輸監測站之看板與儀器

3.2 現場採樣設備

1. 筆記型電腦，與水位計(RST VW2100) (圖 3.2.1)及導電度 (TrtraCon)(圖 3.2.2)連結，進行資料傳輸。

2. 現地水位測量使用手提式水位計（圖 3.2.3），將附有尺標之感應器放入井中，持續下降，當感應器接觸到水面時即會發出聲響，再由井口尺標之刻度判讀井中水位之深度。
3. 貝勒管(圖 3.2.4)，先將貝勒管用純水清洗後放入井中採集第一次溫泉水，之後使用溫泉水清洗過貝勒管及採樣瓶後，再做第二次採集，將第二次採集的溫泉水使用採樣瓶裝瓶後，放入冰桶冷藏。
4. 檢測儀器(圖 3.2.5)，使用 9P 檢測儀器製造型號為 Myronl Company Ultrameter III 9P 之檢測儀器，現地檢測：pH、TDS、COND、ORP、 $^{\circ}\text{C}$ 。
5. 試劑，空白試劑水：去離子水、去離子蒸餾水或 2 次蒸餾水。
6. 溫度計，溫度會受到環境等因素容易改變，所以需要即時檢測溫泉露頭的溫度。
7. 採樣瓶，材質應具化學鈍性，且不易對分析物造成吸附或脫附為宜，需附蓋，使用前以空白試劑水淋洗 2、3 遍，晾乾後使用。
8. 採樣杓，附有長柄之 PE 燒杯（低於 60°C 時使用）、不銹鋼伸縮式採樣器（高於 60°C 時使用）。
9. 冰桶、冰塊或保溫包，保存採樣完的水樣包存新鮮度，後續的儀器分析。



圖 3.2.1 加拿大 RST VW2100 監測儀器

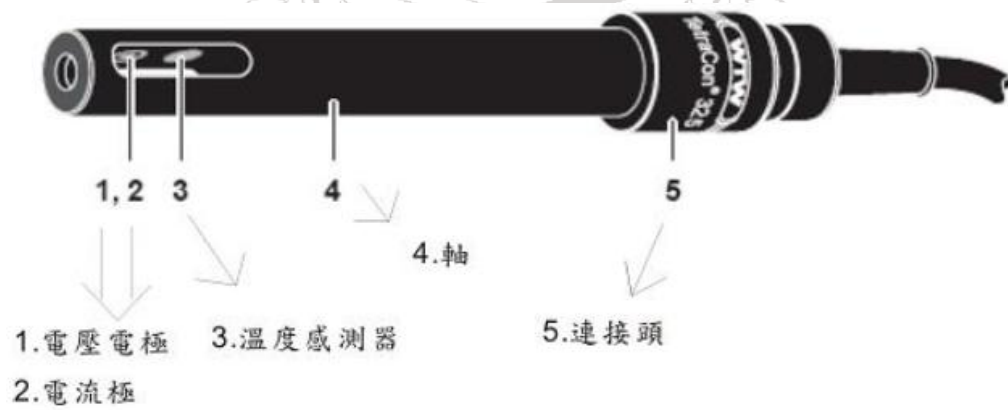


圖 3.2.2 TrtraCon 導電度計



圖 3.2.3 手提式水位計



圖 3.2.4 貝勒管

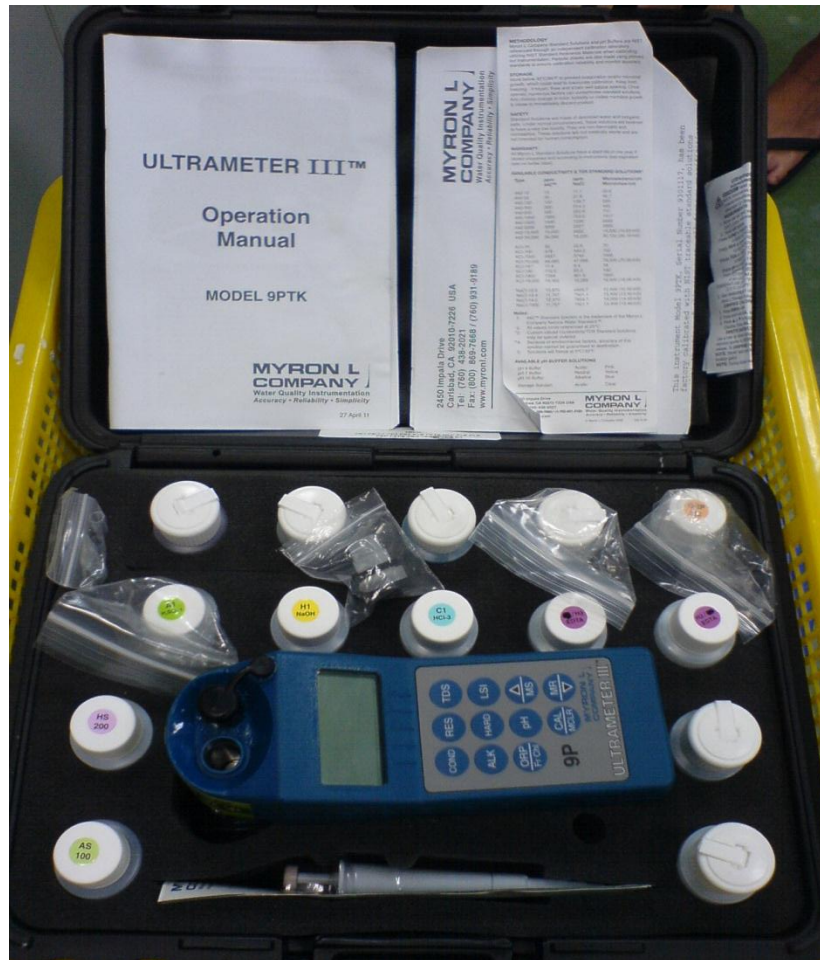


圖 3.2.5 Myronl Company Ultrameter III 9P 之檢測儀器

3.3 實驗室分析

本研究的離子濃度檢測分為 ICP-MS(圖 3.3.1 所示)與 IC(圖 3.3.2 所示)兩部分，本檢測方法係利用感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)檢測水樣中金屬及微量元素，本規範適用於溫泉水中之鋁(Al)、砷(As)、硒(Se)、銻(Sb)、鋇(Ba)、鉍(Be)、鎘(Cd)、鉻(Cr)、鈷(Co)、銅(Cu)、鉛(Pb)、鎳(Ni)、銀(Ag)、鉍(Tl)、汞(Hg)、釩(V)、鋅(Zn)、錳(Mn)及鉬(Mo)等元素分析；離子層析儀(IC)檢測水樣中金屬及微量元素，適用於 Cl^- 、 NO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 CrO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 則適用。



圖 3.3.1 感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)



圖 3.3.2 離子層析儀(IC)

3.3.1 實驗設備

- 1.感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP-AES)，型號 PC 10 Pneumatic Controller。
- 2.離子層析儀(IC)，型號 Optima 2000 DV。
- 3.碳酸氫根離子檢測方法-滴定法。

3.3.2 分析方法

- 1.感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP-AES)
 - (1)先以移液管吸取水樣(依分析倍數)，100mL定量瓶，最後將去離子水加滿至檢量線上，再用封口膜套牢，輕微搖晃混勻到至ICP空瓶。
 - (2)配置分析各元素的檢量線，先以移液管吸取原液(依分析倍

數)，100mL定量瓶，最後將去離子水加滿至檢量線上，再用封口套牢，輕微搖晃混勻到至ICP空品，最後使用標籤紙標示編號，以便操作之順序。

2. 離子層析儀(IC)

(1)先以移液管吸取水樣(依分析倍數)，100mL定量瓶，最後將去離子水加滿至檢量線上，再用封口膜套牢後輕微搖晃混勻，倒入針筒讓濾頭過濾至IC空品。

(2)檢查線路連接及液體流向，潤濕抑制器中的薄膜，最後使用標籤紙標示編號，以便操作之順序。

3. 碳酸氫根離子檢測方法-滴定法

(1)取適量之水樣與三角瓶中，以 25mL 或 50mL 球形吸管配上安全吸球取 50mL 水樣於 100mL 三角燒瓶，將磁石放置 100mL 三角瓶並打開攪拌開關調整至微攪拌狀態；加入 5 滴是當指示劑，刻度吸管取甲基橙指示劑顏色應呈現橙黃色。

(2)以 0.02N 硫酸溶液或 0.02N 氫氧化鈉溶液，滴定至顏色改變為止。

(3)計算水樣之鹼度：

鹼度(以 mgCaCO_3/L 表示)= $B \times N \times 50,000 / \text{水樣體積}$ A=硫酸滴定液的消耗量(mL)，N=硫酸溶液的當量濃度=0.02N

$$V=\text{水樣體積(mL)}=50, 50000=\text{CaCO}_3\text{的當量}(50) \times 1000$$

3.4 實驗架構

本研究先以四重溪溫泉水質水位之研究，現場部分了解到此溫泉區的現況，採集水樣等重要程序，實驗室部分再分析水質中的離子濃度；再將數據彙整後跟歷年的資料做比較，看水位水質是否有無上升或濃度變低。本研究架構如圖 3.4.1 所示



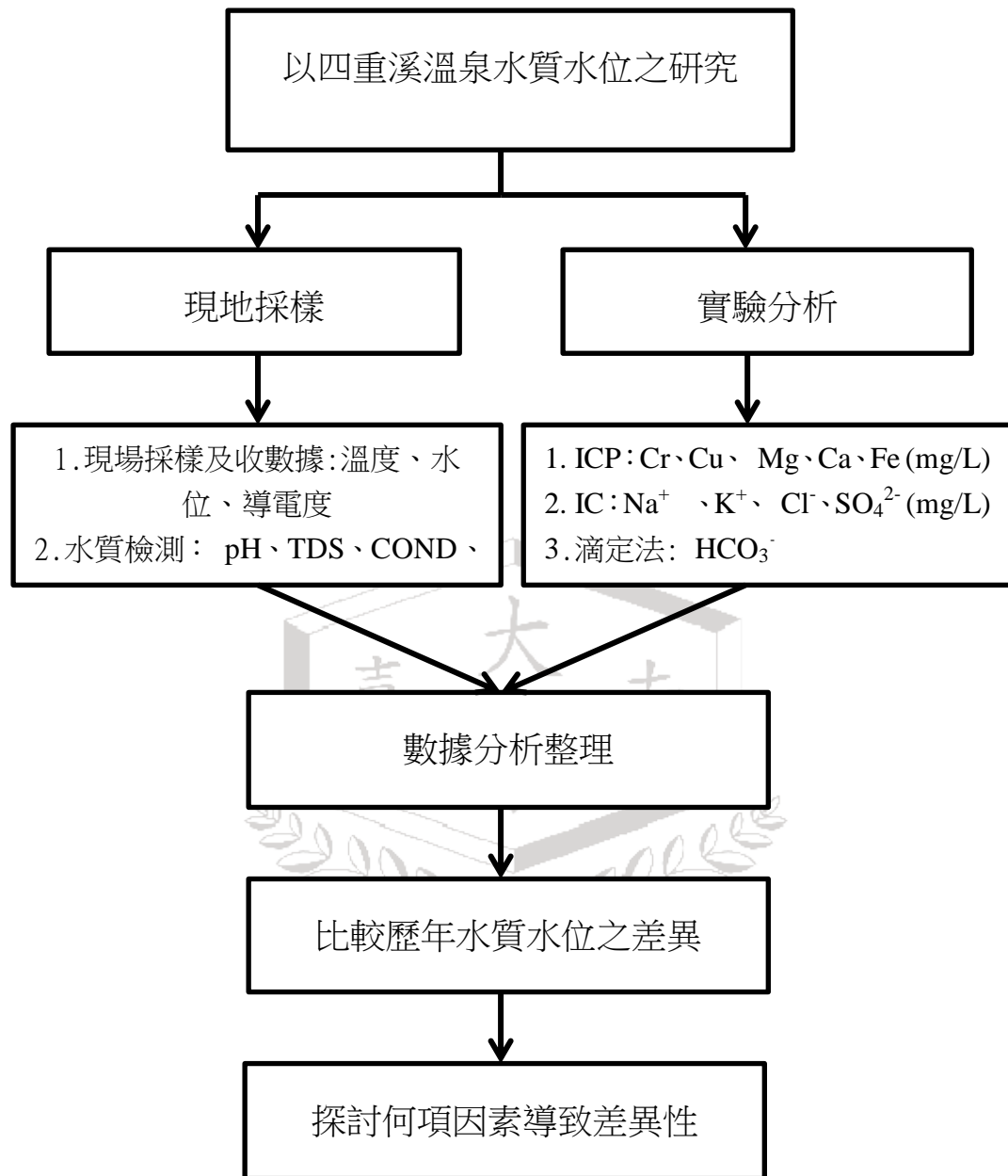


圖 3.4.1 研究架構圖

第四章 分析結果與討論

4.1 現地資料

現地測量的項目有水位、溫度、導電度、pH、氧化還原電位、總溶解性固體物(表4.1.1)，開始紀錄的時間為6月13日。八個監測點所測到的最高溫度為公共浴室井的57.1℃，最低溫為景福井的31.6℃，溫差最大的採樣點為公共浴室井43.2℃~57.1℃，溫差有13.9℃。導電度最高的為景福井的2160 μ S/cm，最低的為南台灣井的158.2 μ S/cm，差距最大的為南台灣井的158.2 μ S/cm~1437 μ S/cm，其中*為受8月30日南瑪都颱風影響，降雨量較大，溫泉井內湧進地下水，導致導電度下降，且因其非生產井，故導電度呈緩慢回升。

表4.1.1 現地測量數據(縣府一號井及三號井為監測井故資料為嘉南藥理科技大學溫泉中心提供彙整)

井名	日期	水位 (m)	電導度 (μ S/cm 25℃)	總溶解 性固體 物(mg /L)	氧化還 原電位 (mV)	pH	水溫 (℃)
大山溫泉 SPA 農場	2011.06.13	111.4	1897	1322	12	8.23	45.7
	2011.06.23	119.3	1902	1329	-6	8.33	46.8
	2011.07.01	106.9	1898	1309	81	8.39	48.5
	2011.07.15	109.4	1904	1321	28	8.47	42.3
	2011.07.21	113.8	1890	1309	44	8.47	46.4
	2011.07.29	116.5	1885	1301	46	8.5	46.3
	2011.08.05	108.6	1878	1301	89	8.61	45.8
	2011.08.12	102.3	1886	1299	19	8.39	47.2
	2011.08.26	100.9	1879	1304	15	8.51	44.2
	2011.09.05	86.9	1878	1305	25	8.49	44.6

	2011.09.16	88.5	1915	1327	33	7.6	46.3
	2011.09.30	97.6	1914	1332	-19	8.42	43.5
	2011.10.14	108.6	1907	1324	3	8.38	44.2
	2011.10.26	117.6	1895	1313	5	8.26	45.8
	2011.11.16	114.1	1847	1299	23	8.51	44.5
	2011.12.02	115.5	1872	1307	11	8.34	45.5
井名	日期	水位 (m)	COND ($\mu\text{s}/\text{cm}$ 25°C)	TDS (mg/L)	ORP (mV)	pH	水溫 (°C)
公共浴室	2011.06.13	61.2	2015	1425	19	7.9	53.6
	2011.06.23	60.5	2055	1416	-26	8.33	46.8
	2011.07.01	58.6	2074	1443	40	8.29	52.2
	2011.07.15	57.9	2055	1430	53	8.26	51.3
	2011.07.21	57.6	2056	1420	46	8.47	46.6
	2011.07.29	55.3	1977	1369	73	8.33	43.2
	2011.08.05	54.3	2011	1403	99	8.3	51.2
	2011.08.12	54.9	2027	1413	-38	8.13	56.3
	2011.08.26	53.6	2037	1416	26	8.21	45.1
	2011.09.05	48.5	2049	1429	20	8.04	57.1
	2011.09.16	50.9	2034	1407	-19	7.51	54.3
	2011.09.30	50.1	2030	1407	-28	8.2	54.1
	2011.10.14	55.9	2030	1405	7	8.19	44.2
	2011.10.26	56.2	2026	1409	13	8.1	48.6
	2011.11.16	57.1	2035	1422	58	8.12	48.5
	2011.12.02	57.6	2016	1399	89	8.06	51.3
井名	日期	水位 (m)	COND ($\mu\text{s}/\text{cm}$ 25°C)	TDS (mg/L)	ORP (mV)	pH	水溫 (°C)
南台灣溫泉飯店	2011.06.13	54.9	1308	949.2	-133	7.99	35.5
	2011.06.23	52.3	1411	938.6	-163	8.07	35.4
	2011.07.01	54.5	1370	935	-153	8.41	38.8
	2011.07.15	52.9	1375	944.5	-142	8.8	33.5
	2011.07.21	50.4	1378	944.6	-191	8.43	34.9
	2011.07.29	48.8	1437	986.2	-124	8.5	37.4
	2011.08.05	47.9	1419	975.4	-107	8.41	33.4
	2011.08.12	52.6	1439	986.7	-172	8.46	35.1
	2011.08.26	51.7	1416	969.8	-198	8.43	34.8
	2011.09.05	46.9	*158.2	98.28	33	7.81	33.9

	2011.09.16	48.1	*458.2	298.2	-110	8.39	34.1
	2011.09.30	50.4	*546.5	356.9	-185	7.98	34.5
	2011.10.14	48.3	1177	801.1	-158	8.32	33.4
	2011.10.26	50.8	1292	882.4	-166	8.18	33.4
	2011.11.16	51.3	1368	938.1	-167	8.26	32.4
	2011.12.02	54.6	1374	940.3	-139	8.13	33.5
井名	日期	水位 (m)	COND ($\mu\text{s}/\text{cm}$ 25°C)	TDS (mg/L)	ORP (mV)	pH	水溫 (°C)
新龜山旅館	2011.06.13	80.4	1941	1359	-6	8.51	43.1
	2011.06.23	75.1	1957	1367	48	8.28	43.6
	2011.07.01	80.6	1961	1365	-65	8.17	44.6
	2011.07.15	81.4	1950	1350	58	8.26	41.2
	2011.07.21	75.3	1786	1236	54	8.89	39.2
	2011.07.29	76.1	1947	1360	30	8.06	40.8
	2011.08.05	79.3	1976	1379	42	8.3	48.7
	2011.08.12	76.5	1951	1357	43	8.4	45.3
	2011.08.26	77.6	1956	1355	25	8.59	45.1
	2011.09.05	74.3	1943	1354	42	8.57	44.6
	2011.09.16	71.5	1932	1345	-73	8.48	39.8
	2011.09.30	77.6	1949	1355	-7	8.46	44.5
	2011.10.14	78.3	1950	1366	17	8.28	43.5
	2011.10.26	69.8	1947	1355	15	8.38	43.3
	2011.11.16	80.3	1927	1349	23	8.34	37.5
	2011.12.02	82.4	1955	1358	-4	8.16	43.6
井名	日期	水位 (m)	COND ($\mu\text{s}/\text{cm}$ 25°C)	TDS (mg/L)	ORP (mV)	pH	水溫 (°C)
景福旅館	2011.06.13	65.3	2142	1523	-27	7.85	37.5
	2011.06.23	63.7	2116	1497	-62	8.34	41.5
	2011.07.01	61.5	2135	1510	-138	8.32	37.8
	2011.07.15	62.1	2085	1477	-119	8.23	35.5
	2011.07.21	63.4	2151	1514	-57	8.14	43.2
	2011.07.29	63.5	2086	1490	-38	8.15	40.1
	2011.08.05	59.3	2140	1511	-2	8.15	41.2
	2011.08.12	59.8	2155	1519	-48	8.12	43.1
	2011.08.26	59.6	2160	1519	-5	8.31	43.5
	2011.09.05	57.8	2080	1428	-58	7.63	31.6

	2011.09.16	58.3	2139	1345	-73	8.43	39.8
	2011.09.30	57.6	2056	1461	-139	8.01	32.3
	2011.10.14	59.3	2112	1502	-47	8.2	33.1
	2011.10.26	59.8	1939	1374	-19	8.18	37.6
	2011.11.16	60.6	1225	839.8	29	7.99	32.4
	2011.12.02	60.3	1519	1344	-102	7.89	36.5
井名	日期	水位 (m)	COND ($\mu\text{s}/\text{cm}$ 25°C)	TDS (mg/L)	ORP (mV)	pH	水溫 (°C)
洺泉旅館	2011.06.13	41.6	1970	1375	-124	7.81	48.5
	2011.06.23	43.2	1960	1365	63	8.03	45.3
	2011.07.01	35.6	1956	1359	-144	7.79	52.3
	2011.07.15	35.4	1974	1362	-122	7.92	51.3
	2011.07.21	35.5	1964	1350	-115	7.9	54.2
	2011.07.29	35.3	1946	1356	-119	7.98	47.3
	2011.08.05	45.6	1971	1365	-82	7.87	51.2
	2011.08.12	47.8	1944	1357	-6	8.15	42.5
	2011.08.26	49.5	1950	1352	-37	8.03	36.9
	2011.09.05	44.3	1947	1356	-2	8.13	41.3
	2011.09.16	50.3	1928	1344	-16	8.22	43.5
	2011.09.30	49.2	1990	1365	-169	7.92	50.5
	2011.10.14	48.9	1920	1339	-40	8.14	44.3
	2011.10.26	48.5	1930	1338	13	8.12	44.6
	2011.11.16	54.3	1932	1348	13	8.16	43.2
	2011.12.02	56.4	1961	1356	-102	7.79	50.2

4.2 水位與水溫

4.2.1 縣府一號井

縣府一號井：於 2010 年 7 月 7 日開始觀測，2010 年 7-12 月水位約井口下 24-30m，2011 年 1-10 月水位約井口下 28-35m，2011 年 7-10 月比 2010 年同月份，水位明顯較低約 1-4m（圖 4.2.1）。2010 年 7-12 月水溫（井口下 90m）約 34.0°C，2011 年 1-10 月水溫約 33.9°C，2011

年水溫明顯較低約 0.1°C （圖 4.2.1）。

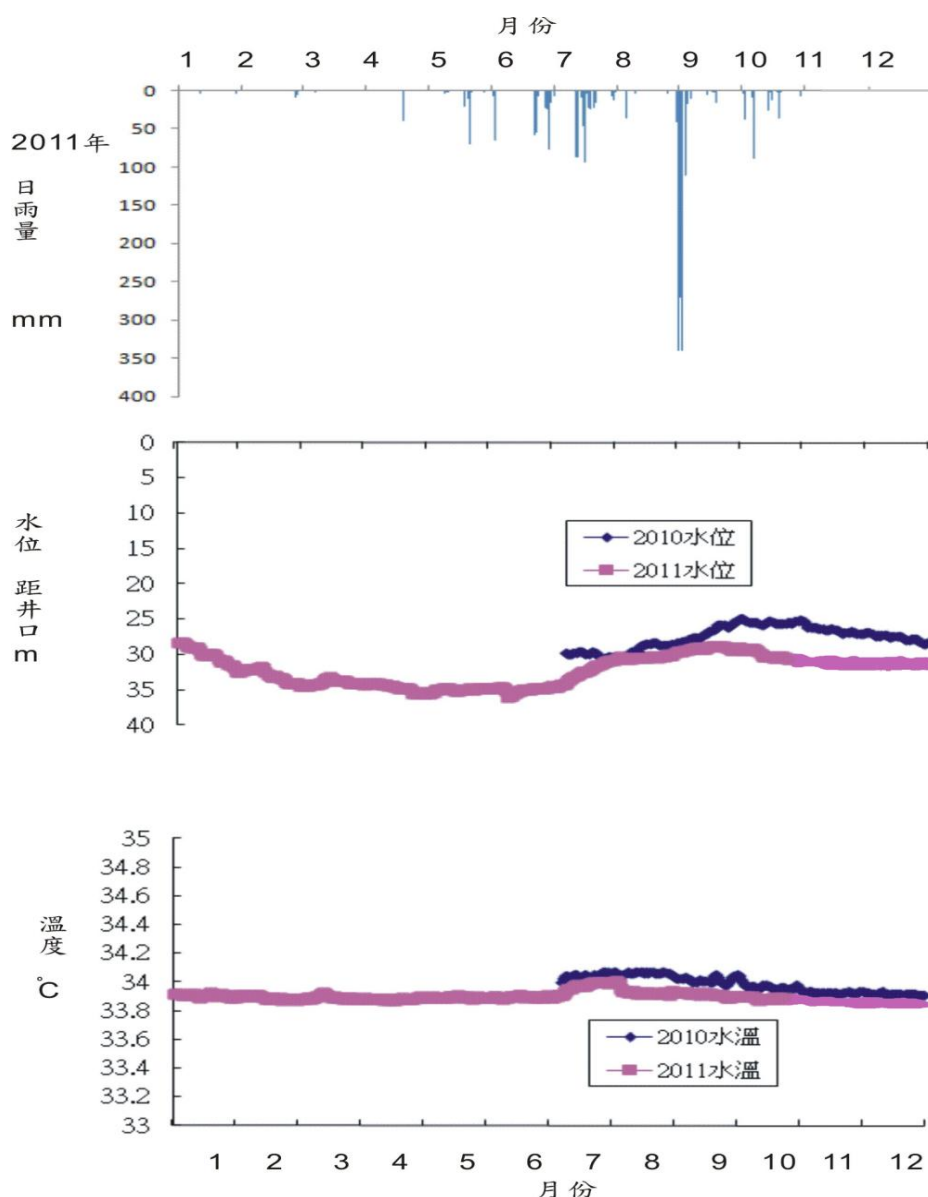


圖 4.2.1 縣府一號井之水位與水溫數據

4.2.2 縣府三號井

縣府三號井：於 2010 年 7 月 7 日開始觀測，2010 年 7-12 月水位約井口下 10-14m，2011 年 1-6 月水位約井口下 12-20m，2011 年 7-10 月比 2010 年同月份，水位明顯較低約 3-4m（圖 4.2.2）。2010 年 7-12 月水溫（井口下 90m）約 30.9°C ，2011 年 1-10 月水溫約 30.8°C ，2011 年水溫明顯較低約 0.1°C （圖 4.2.2）。

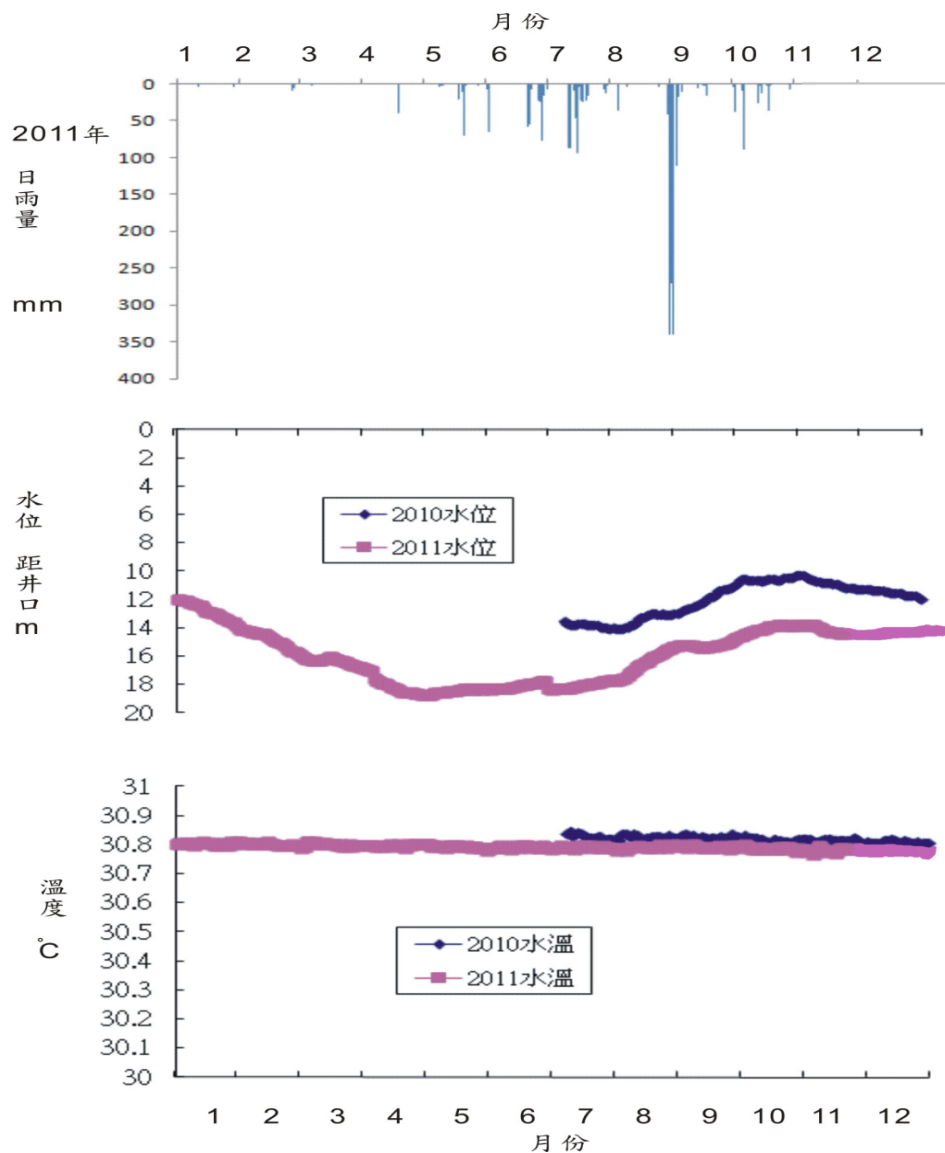


圖 4-2-2 縣府三號井之水位與水溫數據

4.2.3 大山農場

大山農場：於 2010 年 7 月 7 日開始觀測，2010 年 7-12 月水位約井口下 75-90m，2011 年 1-6 月水位大都超過井口下 90m（因監測儀器之電纜線只有 90m），2011 年水位明顯較低（圖 4.2.3）。2010 年 7-12 月水溫（井口下 90m）約 44°C，2011 年 1-9 月水溫約 38-48°C，2011 年 7-8 月比 2010 年同月份之水溫明顯較高，可能因水位降低、使更

深的熱水湧出（圖 4.2.3）。

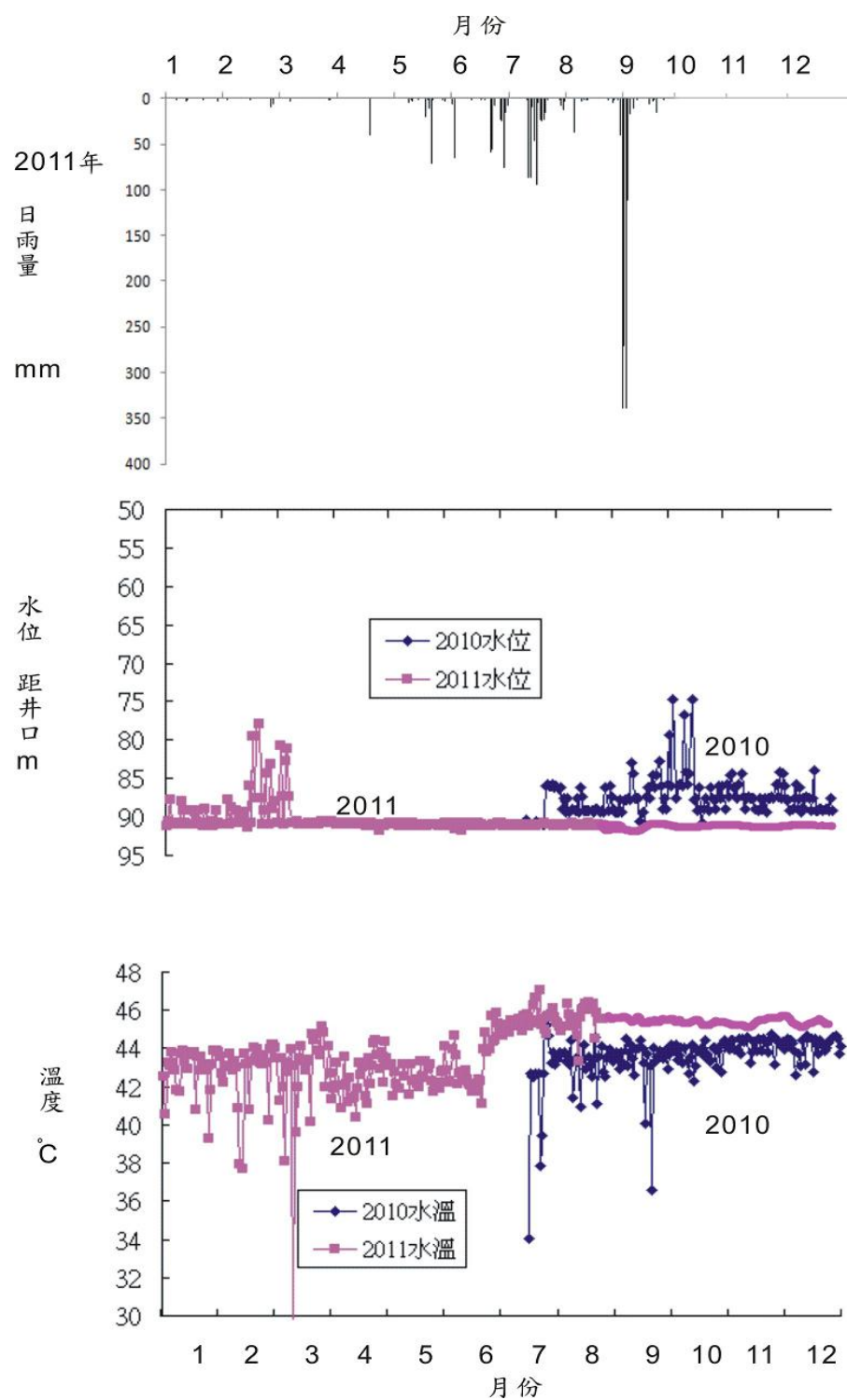


圖 4.2.3 大山溫泉井之水位與水溫數據

4.2.4 南台灣飯店

南台灣飯店井：於 2010 年 9 月開始觀測，2010 年 9-12 月水位約

井口下 45-50m，2011 年 1-6 月水位約井口下 48-55m，2011 年水位明顯較低（圖 4.2.4）。2010 年 9-12 月水溫（井口下 90m）約 38.4-38.8℃，2011 年 1-9 月水溫約 38.6-39℃，2011 年旱季水溫明顯較高，雨季可能因降雨、使水溫降低約 1℃（圖 4.2.4）。

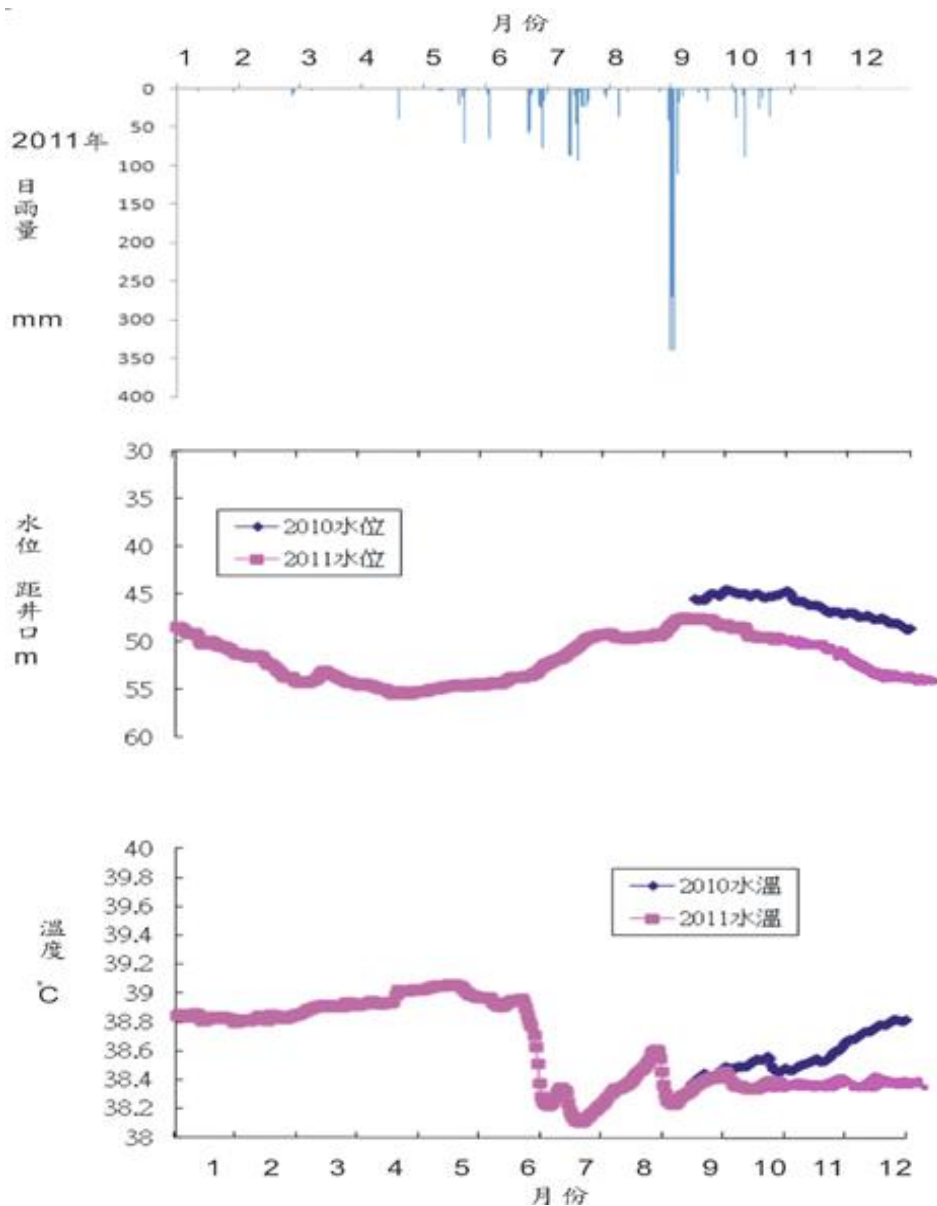


圖 4-2-4 南台灣井之水位與水溫數據（井下 90m 深）

4-2-5 新龜山旅館

新龜山旅館井：於 2010 年 9 月開始觀測，2010 年 9-12 月水位約

井口下 50-70m，2011 年水位約井口下 60-75m（圖 4.2.5）。2010 年 9-12 月水溫（井口下 90m）約 40-43℃，2011 年 1-10 月水溫約 35-43℃（圖 4.2.5）。

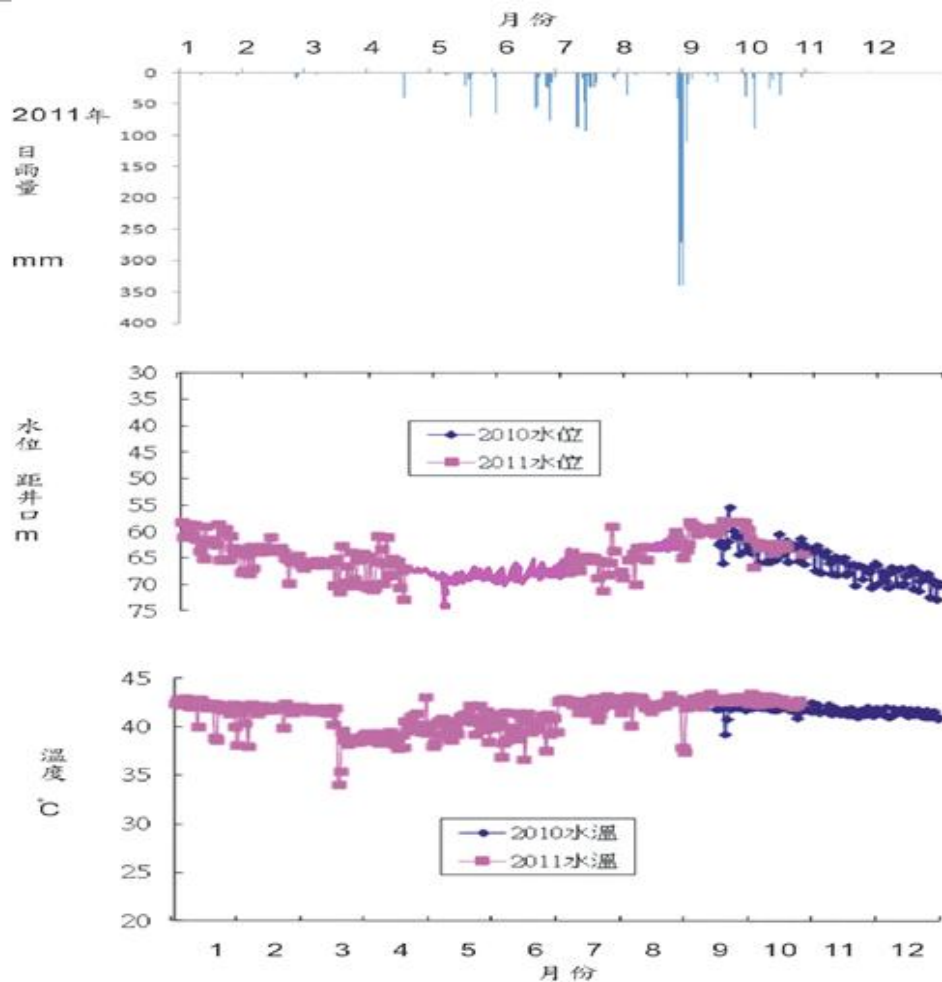


圖 4.2.5 新龜山旅館井之水位與水溫數據（井下 90m 深）

4.2.6 景福旅館

景福旅館井：於 2010 年 10 月開始觀測，2010 年 10-12 月水位約井口下 50-55m，2011 年 1-10 月水位約井口下 55-75m，2011 年水位明顯較低（圖 4.2.6）。2010 年 9-12 月水溫（井口下 90m）約 47-52℃，2011 年 1-10 月水溫約 47-52℃，因本井為生產井，因抽用擾動、使水溫不易反應該監測點的溫度，但 2011 年 9 月的降雨使水溫短暫

降至 39℃（圖 4.2.6）。

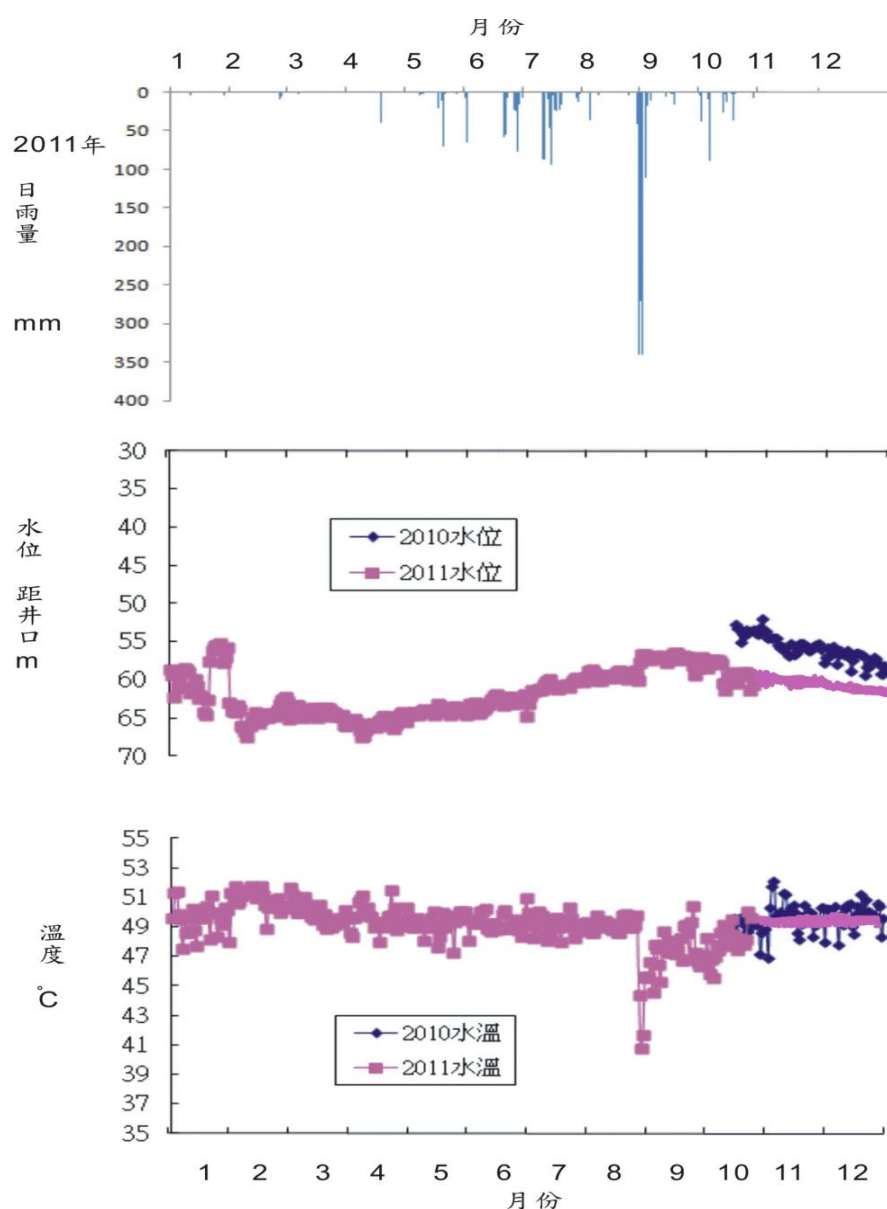


圖 4.2.6 景福旅館井之水位與水溫數據（井下 90m 深）

4.2.7 洺泉旅館

洺泉旅館井：於 2010 年 10 月開始觀測，2010 年 10-12 月水位約井口下 35-45m，2011 年 1-10 月水位約井口下 30-50m，2011 年旱季水位些微較高，但雨季卻下降（圖 4.2.7）。2010 年 9-12 月水溫（井口下 90m）約 46-54℃，2011 年 1-10 月水溫約 46-56℃，因本井為生產井，因抽用擾動、使水溫不易反應該監測點的溫度（圖 4.2.7）。

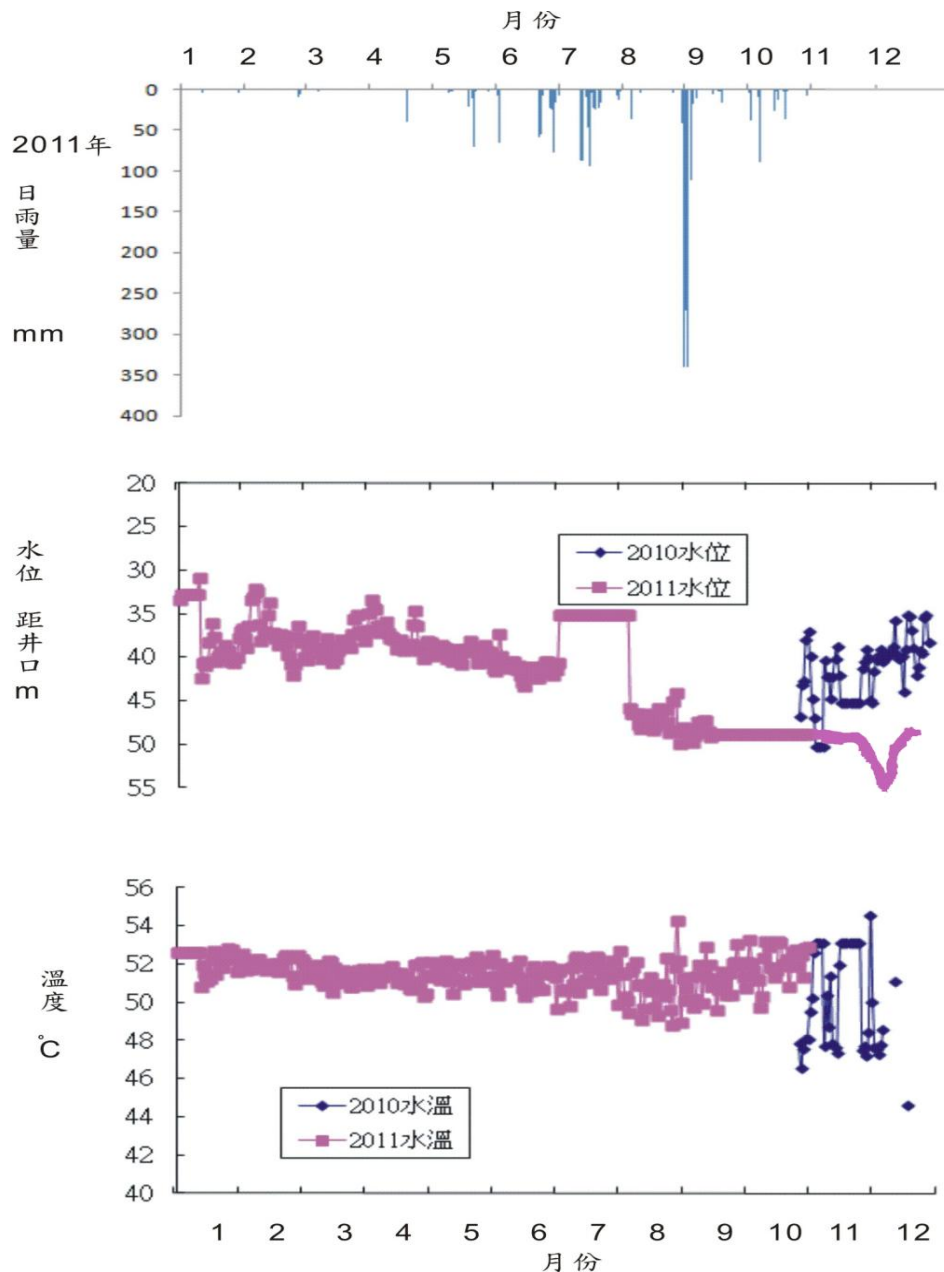


圖 4.2.7 洺泉旅館井之水位與水溫數據（井下 90m 深）

4.2.8 公共浴室

公共浴室井的水位：於 2007 年 11 月開始監測，2007-2009 年的水位呈現持續下降，年平均水位約從井口下 43.19m(2007 年)、47.38m (2008 年)降至 62.16m(2009 年)，2010 年平均年水位為 63.93m，2009-2010 年水位只有小降 1.77m，可能因為 2009 年年底屏東縣政府開始封井並進行總量管制，本區的局部總量管制應已有效果。2011

年至 12 月底的水位約在井口下 57.43m（圖 4.2.8）。

公共浴室井的水溫：2007 年至 2008 年 2 月因水溫測頭放於井口，故溫度受抽水及地面溫度的影響，其溫度測值應不足以代表溫泉之溫度。2008-2009 年溫度測頭放於井口下 90m 處，2008 年溫度約 65°C、2009 年除 3 月外、溫度降至 50°C。2010 年至 2011 年溫度開始緩慢回升，2011 年 7-9 月水溫約 60°C，可能因總量管制、水位回升，淺層水入滲的情況有所改善，因此溫度漸漸回升（圖 4.2.8）。

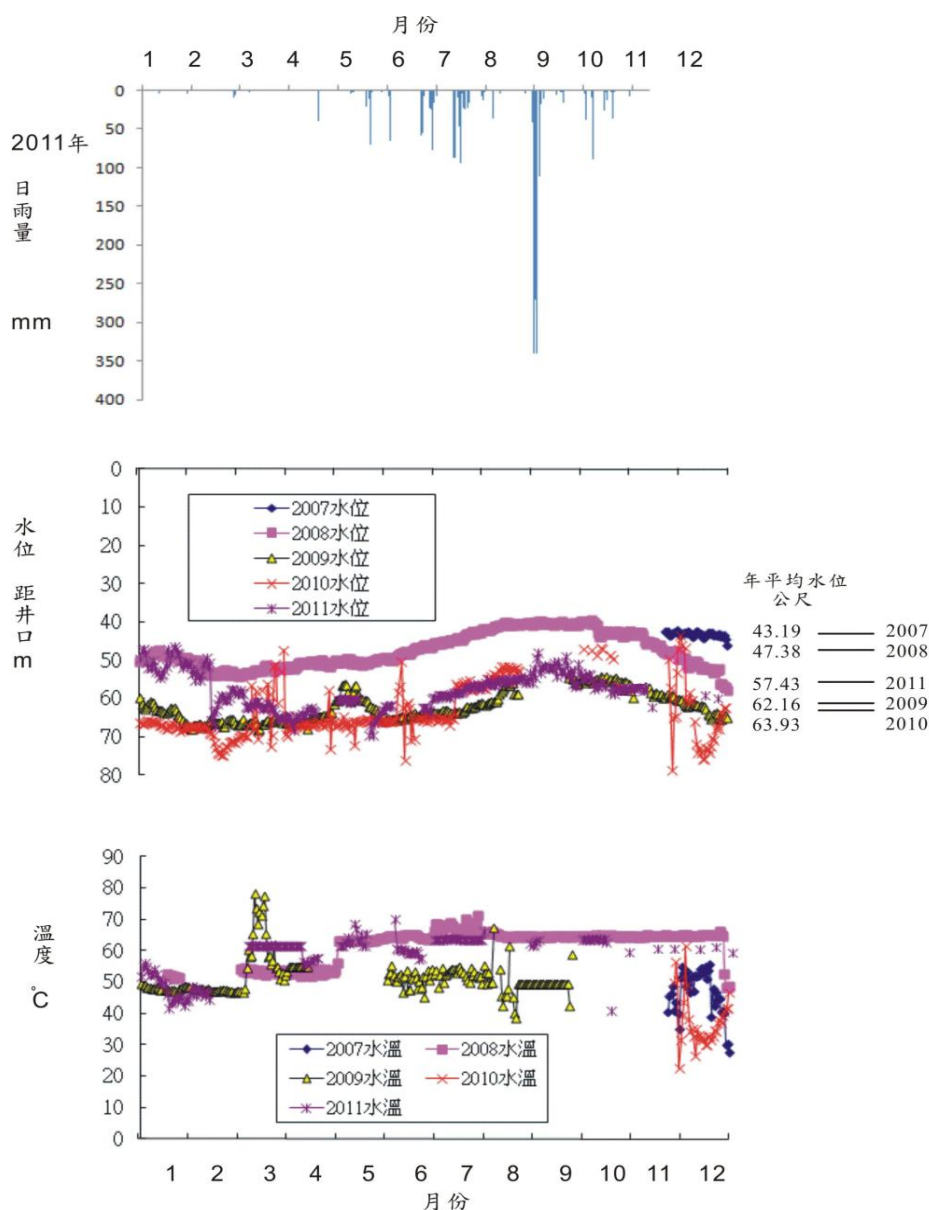


圖 4.2.8 公共浴室井之水位與水溫數據

八口井以公共浴室2008年降雨最多的6月份為例，降雨集中在三個時段（圖4.2.9）：2－5日、14－16日及26－28日。降雨當天，「公共浴室」井的水位並沒有立即上升，例如2－5日的降雨，水位持平於井口下6.5m。6日起雨停了、水位開始上升，至13日止，水位由6.5m上升至8.5m，共上升了2m。其餘的兩個降雨時段，也有類似的情形，可能反應出四重溪的溫泉含水層，與地面水或與淺層土壤水的連通性並不好，水位的上升應由深部受壓水層湧入。

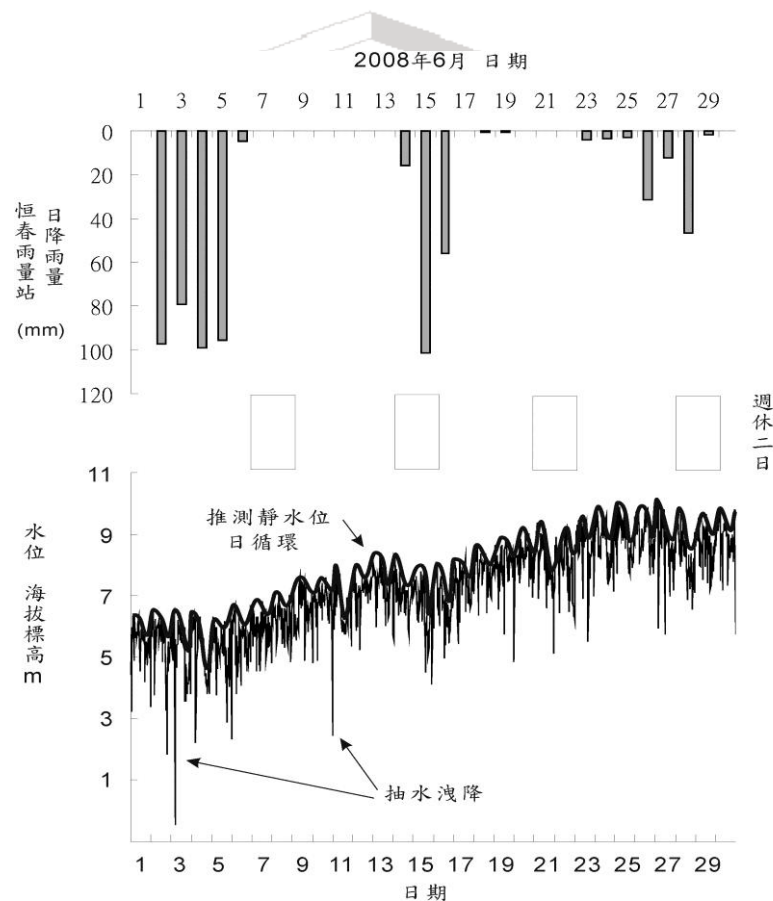


圖 4.2.9 2008 年 6 月之降雨與「公共浴室」井水位之比對
(四重溪溫泉資源監測調查計畫, 2011)

由圖4.2.9可發現「公共浴室」井有明顯的抽水影響。本井抽水時，水位洩降最大可達6m，通常約在1—3m。水位有明顯的日循環，為本井抽水、鄰井抽水及區域抽水之綜合效應。日水位差約在0.5—2m之間，以下午6時之水位最低、凌晨時水位最高，反應出泡湯時段以住宿客為主。

若不考慮抽水的影響，統計2008年6月至9月共有11次降雨事件，累積降雨量最大為380mm、最小約40mm，低於40mm者不列入統計。降雨後水位通常開始上升，統計至下次降雨時止。即下次降雨前一天的水位、減去當次降雨後一天的水位，視為水位上升量。以「公共浴室」井為例，水位上升量與降雨累積量大約成正比。累積降雨量達180mm以上、水位上升可達0.9—2.0m，降雨低於50mm時、水位沒有上升（圖4.2.10）。而2009年8月6-12日降雨累計777mm，水位由井下約61m、上升至56m，共上升約5m（圖4.2.11）。2011年8月26-30日降與累計1121mm，水位由井下約55m、上升至46m，共上升約9m（圖4.2.12）。

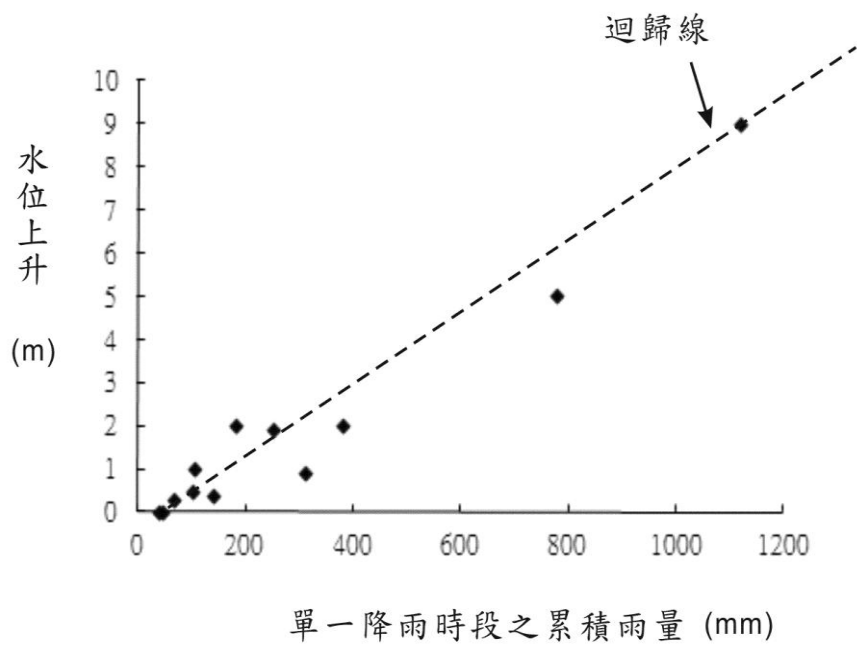


圖 4.2.10 公共浴室水位變化與降雨之關係

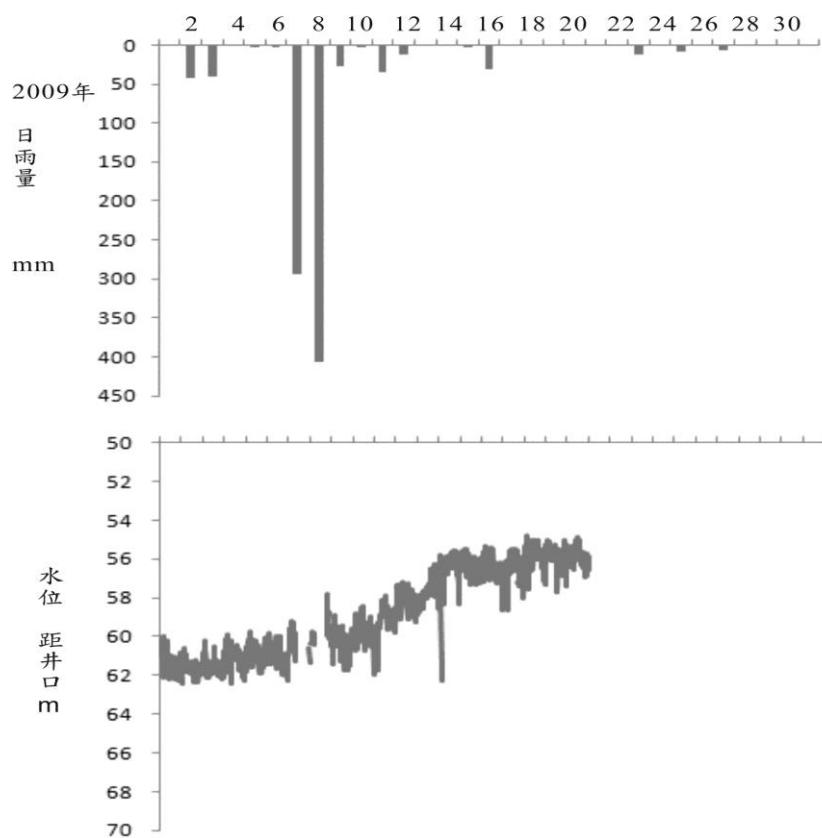


圖 4.2.11 2009 年 88 風災與公共浴室水位變化之關係

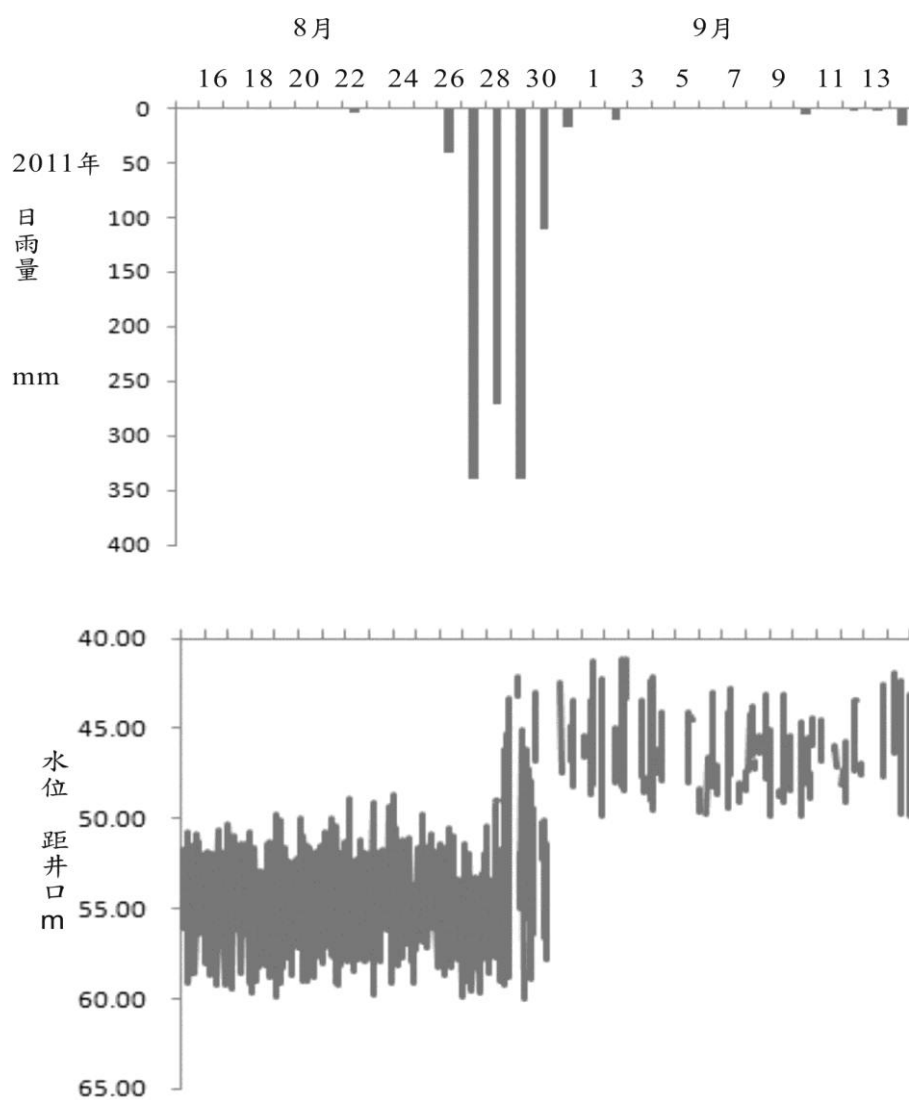


圖 4.2.12 2011 年 831 南瑪都風災與公共浴室水位變化之關係

4.3 水質

四重溪溫泉的導電度分布，大約為 $1390\text{-}2480\mu\text{s}/\text{cm}$ ，公共浴室為全區之中心，導電度較高、約 $1983\mu\text{s}/\text{cm}$ （圖 4.3.1）。位於南側的縣府監測井，導電度為全區最高者、達 $2480\mu\text{s}/\text{cm}$ 。

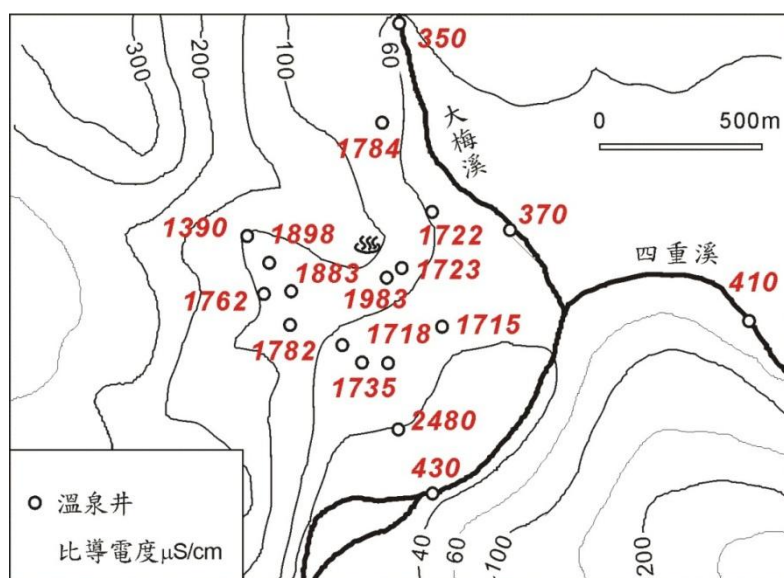


圖 4.3.1 比導電度之平面分布（嘉南藥理科技大學 2007 年 9 月 12 日）

由西北至東南剖面顯示，深層溫泉水的導電度較高（圖 4.3.2）。四重溪河水的導電度約 $290\mu\text{S}/\text{cm}$ ，淺層地下水 $430\mu\text{S}/\text{cm}$ ，溫泉井中最淺的 11 號井（深度為 100m）導電度約 $1390\mu\text{S}/\text{cm}$ ，最深的第 13 號井（縣府監測井）導電度約 $2480\mu\text{S}/\text{cm}$ 。此現象反應出四重溪的溫泉來源，應由下方往上流動，與地質背景及大地電磁法的結果一致。

以歷年數據最多的公共浴室井為例，公共浴室井 2007-2011 年的導電度連續監測，2007-2010 年呈現明顯的降低趨勢，2010 後半年可能因為 2009 年年底屏東縣政府開始封井並進行總量管制使得日後導電度回升（圖 4.3.2）。2007-2008 年上半年的導電度較高，大約 $1600-2000\mu\text{S}/\text{cm}$ ，但短期間的變化幅度很大，最低可到 $1100-1200\mu\text{S}/\text{cm}$ 。2008 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 $1200-1300\mu\text{S}/\text{cm}$ 。至 2009 年比導電度仍然大都低於 $1400\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下，2010 後半年則開始回升至 $2000\mu\text{S}/\text{cm}$ ，2011 年則都呈現平緩 $2030\mu\text{S}/\text{cm}$ （表 4.3.1）。

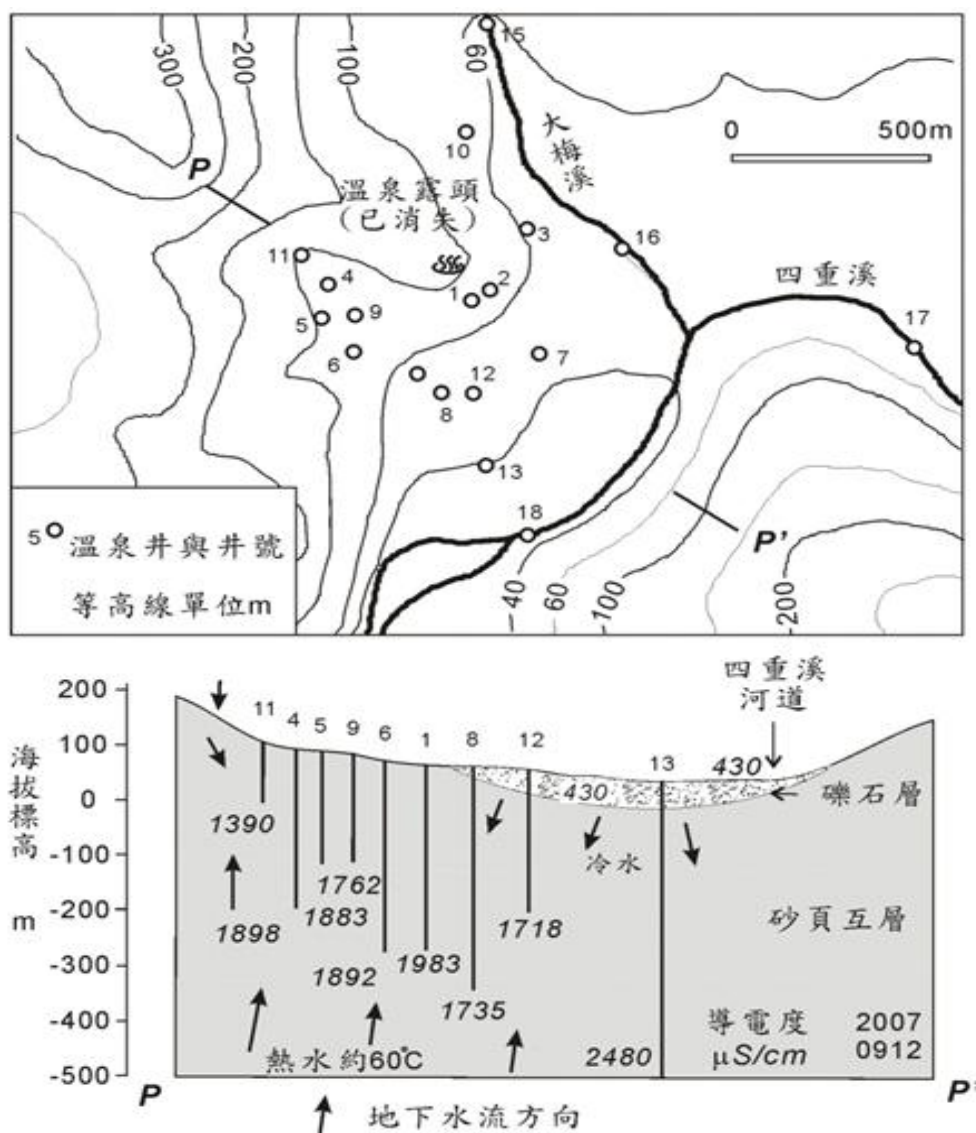


圖 4.3.2 採樣點與比導電度剖面分布（嘉南藥理科技大學 2007 年 9 月）

表 4.3.1 公共浴室井 2007-2011 年之導電度等數據

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	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
2010.06.09	66	55.8	1219	7.80	-153
2010.07.22	60	49.5	2050	7.97	-210
2010.10.26	55	55.4	2081	8.74	-101
2011.03.21	55	57.8	2015	8.24	-251
2011.06.13	61.2	53.6	2015	7.9	19
2011.06.23	60.5	46.8	2055	8.33	-26
2011.07.01	58.6	52.2	2074	8.29	40
2011.07.15	57.9	51.3	2055	8.26	53
2011.07.21	57.6	46.6	2056	8.47	46
2011.07.29	55.3	43.2	1977	8.33	73
2011.08.05	54.3	51.2	2011	8.3	99
2011.08.12	54.9	56.3	2027	8.13	-38
2011.08.26	53.6	45.1	2037	8.21	26
2011.09.05	48.5	57.1	2049	8.04	20
2011.09.16	50.9	54.3	2034	7.51	-19
2011.09.30	50.1	54.1	2030	8.2	-28
2011.10.14	55.9	44.2	2030	8.19	7
2011.10.26	56.2	48.6	2026	8.1	13
2011.11.16	57.1	48.5	2035	8.12	58
2011.12.02	57.6	51.3	2016	8.06	89

※數據為人工量測、水位為距井口下(2007-2010 數據以嘉南藥理科技大學提供)

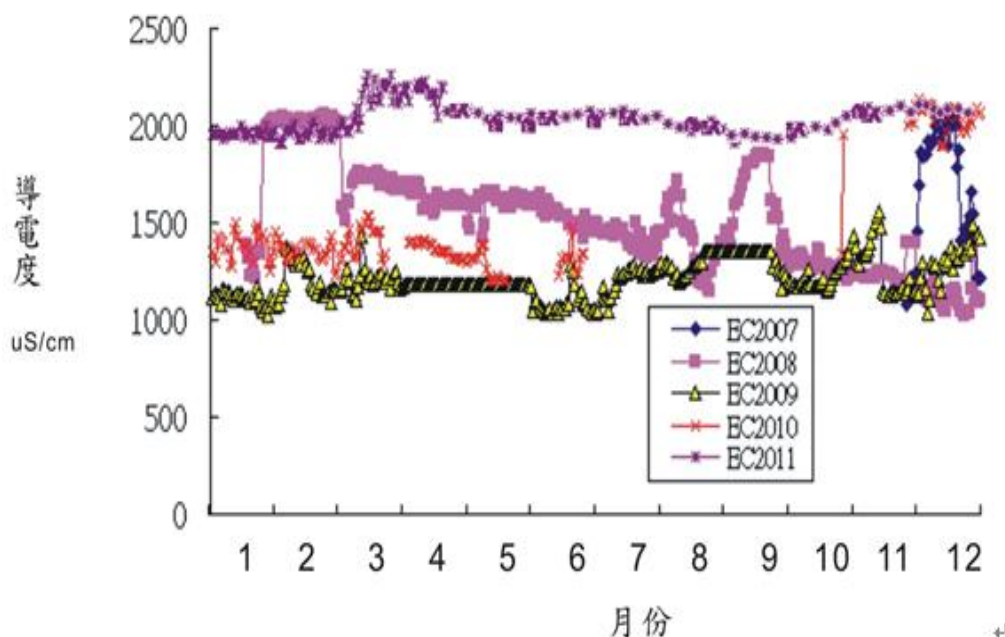


圖 4.2.3 公共浴室井 2007-2011 年之導電度變化

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 24-28 mg/l、硫酸根離子大都小於 6mg/l、鈣離子 2-9 mg/l、鎂離子大多小於 1.0 mg/l、鉀離子小於 9 mg/l (表 4.3.2 及圖 4.3.4)。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。

地點	日期	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	Mg	Na	K	Al
大山溫泉農場	2011.06.23	1156	27.3	4.6	2.5	0.8	385	1.9	1.6
	2011.07.15	1120	28.7	4.3	3.0	0.9	362.3	3.1	2.0
	2011.07.21	1232	25.2	4.8	3.1	0.8	363.9	0.5	2.0
	2011.08.05	1235	28.4	4.0	2.6	0.8	435.6	3.5	1.9
	2011.08.16	1225	27.5	4.5	2.6	0.8	439.6	3.1	1.8
	2011.09.16	1284	27.4	3.1	2.5	0.8	435.3	3.2	1.8
	2011.09.30	1105	26.5	3.6	2.6	0.8	435.9	2.9	1.8

	2011.10.14	1123	25.5	4.6	2.7	0.8	575.5	2.8	1.7
	2011.10.26	1235	27.5	4.9	2.6	0.8	350.7	8.2	1.7
	2011.11.16	1220	26.2	4.9	2.5	0.8	378.4	1.1	1.7
	2011.12.02	1254	24.4	4.8	2.8	8.8	405.7	3.1	1.9
地點	日期	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	Mg	Na	K	Al
公共浴室	2011.06.23	1228.3	21.3	1.4	2.6	0.83	586.5	2.1	1.9
	2011.07.15	1211.4	24.5	1.5	2.6	0.84	505.8	3.2	2.1
	2011.07.21	1216.7	21.5	1.1	2.7	0.86	596.7	1.0	1.8
	2011.08.05	1126.2	21.8	1.8	2.7	0.85	560.7	1.8	1.7
	2011.08.16	1226.5	21.3	1.4	2.6	0.83	568.5	1.7	1.8
	2011.09.16	913.5	20.6	<0.50	3.4	0.91	559.4	1.9	2.0
	2011.09.30	995.0	21.3	0.3	2.6	0.81	525.5	2.3	1.5
	2011.10.14	1114.7	21.0	1.1	2.6	0.82	508.4	3.6	1.8
	2011.10.26	1213.0	21.4	1.6	3.4	0.93	567.6	9.4	1.9
	2011.11.16	1215.1	21.1	1.6	2.6	0.83	560.5	3.4	1.7
	2011.12.02	1228.0	20.7	1.3	2.7	0.85	548.2	2.4	1.9
地點	日期	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	Mg	Na	K	Al
南臺灣 (井)	2011.06.23	1223.5	21.5	6.0	2.6	0.84	329.5	1.6	1.5
	2011.07.15	1227.7	22.4	6.1	2.7	0.86	350.9	1.8	1.8
	2011.07.21	1223.1	21.7	5.8	2.6	0.83	421.2	3.3	1.9
	2011.08.05	1123.5	21.1	6.1	2.7	0.86	486.5	2.5	1.5
	2011.08.16	1224.2	20.8	5.9	2.7	0.83	483.5	2.7	1.8
	2011.09.16	985.5	20.6	4.9	2.8	0.91	68.2	0.6	1.7
	2011.09.30	1003.6	21.2	5.1	2.8	0.86	375.4	3.1	1.5
	2011.10.14	1113.2	21.0	5.8	2.7	0.87	253.9	4.4	1.7
	2011.10.26	1112.6	22.7	6.2	3.1	1.02	683.3	6.4	1.8
	2011.11.16	1223.2	21.0	6.2	4.2	1.01	248.7	2.1	2.1
	2011.12.02	1223.7	20.6	5.7	2.6	0.83	329.7	4.0	1.8
地點	日期	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	Mg	Na	K	Al
景福旅館	2011.06.23	1116.2	21.3	1.1	7.6	0.85	470.9	1.3	1.7
	2011.07.15	1218.2	21.4	0.8	7.4	0.86	493.0	1.7	1.7
	2011.07.21	1227.9	21.4	0.3	8.2	0.92	491.2	1.5	1.8
	2011.08.05	1217.6	21.5	0.9	7.6	0.83	482.3	1.5	1.8
	2011.08.16	1217.9	21.5	1.5	8.0	0.81	456.3	1.2	1.7
	2011.09.16	1008.9	21.0	<0.50	7.2	0.85	555.4	2.1	1.8
	2011.09.30	1061.2	21.8	0.2	7.6	0.83	435.5	2.9	1.7
	2011.10.14	1115.9	20.6	0.5	8.2	0.87	467.4	3.0	1.8

	2011.10.26	1129.4	22.0	1.2	9.2	1.01	392.0	8.0	1.8
	2011.11.16	1213.2	20.6	1.1	5.6	1.73	152.6	1.0	1.7
	2011.12.02	1210.7	20.8	1.1	3.8	2.86	39.4	1.5	1.7
地點	日期	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	Mg	Na	K	Al
洛泉 旅館	2011.06.23	1016.2	20.5	2.1	2.85	0.84	468.5	0.5	1.7
	2011.07.15	1110.4	20.8	2.0	2.91	0.86	417.4	1.8	1.8
	2011.07.21	1014.8	22.7	2.2	3.10	0.88	582.5	0.8	1.8
	2011.08.05	1105.2	22.4	2.2	3.25	0.85	402.2	0.7	1.2
	2011.08.16	1015.5	22.6	2.0	3.18	0.83	405.5	0.2	1.5
	2011.09.16	987.0	20.6	0.8	2.72	0.84	402.6	2.3	1.8
	2011.09.30	1006.2	21.2	1.1	2.88	0.83	420.2	2.5	1.5
	2011.10.14	1113.0	20.7	1.9	2.82	0.84	371.9	4.4	1.8
	2011.10.26	1118.9	21.8	2.1	2.92	0.85	491.3	9.0	1.8
	2011.11.16	1114.9	20.6	2.0	2.84	0.85	382.3	1.0	1.7
	2011.12.02	1115.7	20.6	2.0	2.85	0.85	430.0	23.4	1.8
地點	日期	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	Mg	Na	K	Al
新龜 山旅 館	2011.06.23	1117.3	20.8	2.6	2.56	0.89	458.3	2.5	1.8
	2011.07.15	1118.1	20.6	2.8	2.62	0.83	437.2	0.8	1.8
	2011.07.21	1217.0	20.8	2.4	3.17	1.04	740.4	9.6	1.8
	2011.08.05	1228.3	20.7	1.9	3.56	0.83	527.2	0.5	1.8
	2011.08.16	1218.9	20.5	2.4	3.48	0.85	598.3	2.5	1.9
	2011.09.16	1011.8	21.0	1.1	4.08	0.96	378.7	2.1	2.3
	2011.09.30	1108.5	20.5	1.6	3.45	0.87	385.5	2.5	1.9
	2011.10.14	1114.7	20.6	2.0	2.65	0.83	418.0	3.5	1.8
	2011.10.26	1214.8	22.2	2.4	2.96	0.92	732.0	7.0	1.7
	2011.11.16	1214.7	20.7	2.7	2.71	0.84	406.8	2.0	1.8
	2011.12.02	1213.6	21.0	2.4	2.64	0.82	435.7	3.1	1.8

表 4.3.2 溫泉水與主要離子濃度(單位: mg/l)

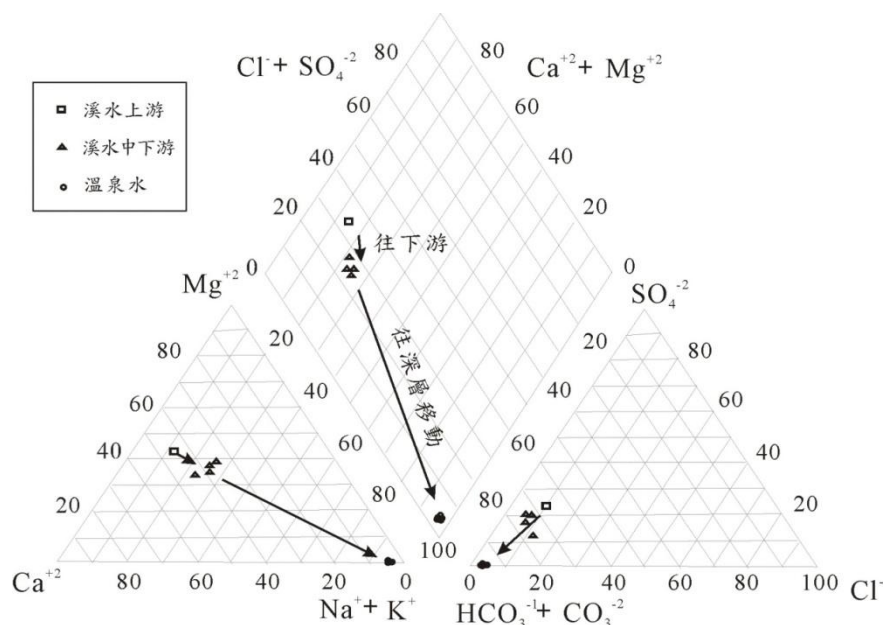


圖 4.3.4 地面水與溫泉水之主要離子成份比例

地面水離子組成則以碳酸鈣鎂為主，其中碳酸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。根據環保署的四重溪溪水監測數據（圖 4.3.5），2000-2009 年比導電度大約為 211-550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，平均約為 345 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，2011 年導電度大約 236-478 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。（圖 4.3.6）

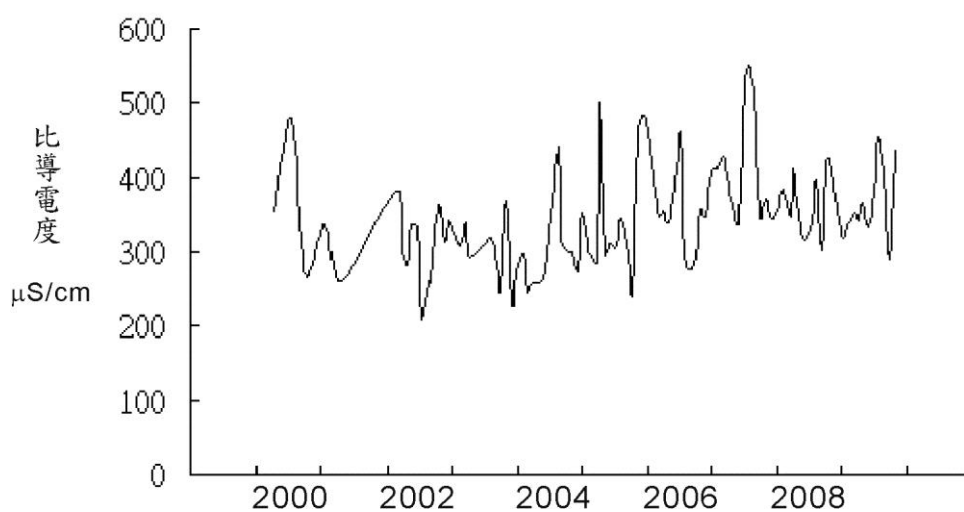


圖 4.3.5 四重溪溪水之導電度(數據：環保署河川監測網)

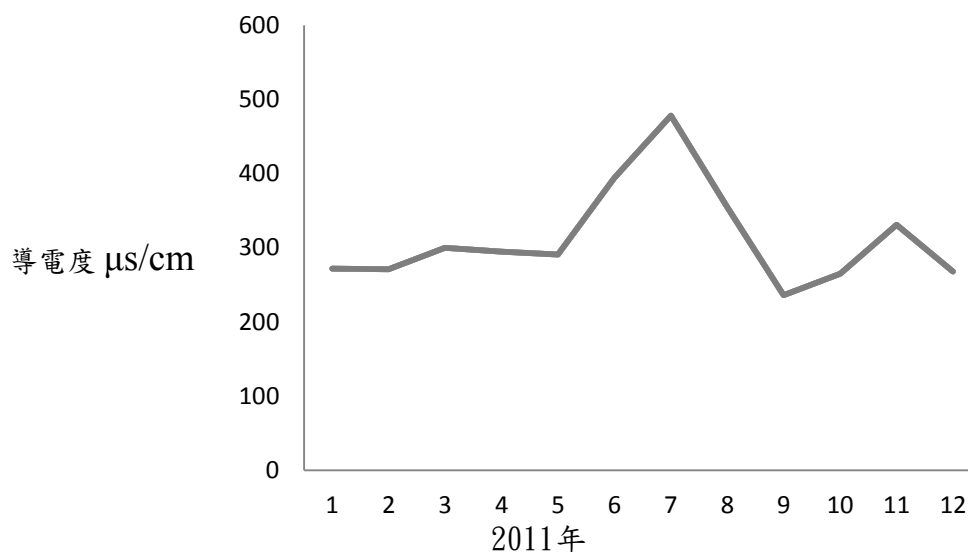


圖 4.3.6 2011 年四重溪溪水之導電度(數據：環保署河川監測網)

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。假設南台灣井（1390 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ）為縣府一號井（2480 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ）與大梅溪中游（350 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ）混合而成，則依不同濃度推算的混合比例如(表 4.3.3)。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。

表 4.3.3 混和比例推算

	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%

工業技術研究院 2002 年於公共浴室的水樣，導電度約為 2177 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，2007 年 10 月本研究採樣，導電度為 1978 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，2008 年約為 1300-1980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，2009 年約 1000-1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，有明顯的降低，但可能於 2009 年後總量管制使得各項水質上升（表 4.3.4）。

表 4.3.4 公共浴室溫泉井之歷年水質

年/月/日	比導電度 $\mu\text{S}/\text{cm}$	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	2177	1336	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	2
20080124	1387	811	12.33	1.13	2.91	0.33	336	2.67	2
20080227	1981	1223	20.15	<0.50	3.05	0.37	435	2.82	2
20080414	1862	1183	13.33	1.28	3.08	0.33	426	2.61	2
20090329	1847	1124	14.87	<0.50	2.79	0.39	439	2.61	2
20091215	1295	750	10.15	1.48	2.50	0.15	320	2.78	2
20101026	2081	1305	14.0	1.25	2.13	0.25	515	6.12	2
20110321	2015	1110	16.5	0.84	3.15	0.75	510	5.54	2
2011.06.23	2055	1228.3	21.3	1.4	2.6	0.83	586.5	2.1	
2011.07.15	2055	1211.4	24.5	1.5	2.6	0.84	505.8	3.2	
2011.07.21	2056	1216.7	21.5	1.1	2.7	0.86	596.7	1.0	
2011.08.05	2011	1126.2	21.8	1.8	2.7	0.85	560.7	1.8	
2011.08.16	2027	1226.5	21.3	1.4	2.6	0.83	568.5	1.7	
2011.09.16	2034	913.5	20.6	<0.50	3.4	0.91	559.4	1.9	
2011.09.30	2030	995.0	21.3	0.3	2.6	0.81	525.5	2.3	
2011.10.14	2030	1114.7	21.0	1.1	2.6	0.82	508.4	3.6	
2011.10.26	2026	1213.0	21.4	1.6	3.4	0.93	567.6	9.4	
2011.11.16	2035	1215.1	21.1	1.6	2.6	0.83	560.5	3.4	
2011.12.02	2016	1228.0	20.7	1.3	2.7	0.85	548.2	2.4	

(1.工業技術研究院能源與資源研究所 2002 2.嘉南藥理科技大學溫泉中心)

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10-24mg/l、硫酸根離子大都小於4mg/l、鈣離子2-4mg/l、鎂離子小於1.0mg/l、鉀離子小於9mg/l。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。

本區溫泉的地熱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 $2-3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，因此深入地面下2000m處應可達 $70-75^{\circ}\text{C}$ ，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°C (圖4.3.7)。地面水往下流動時，水質也產生變化。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。

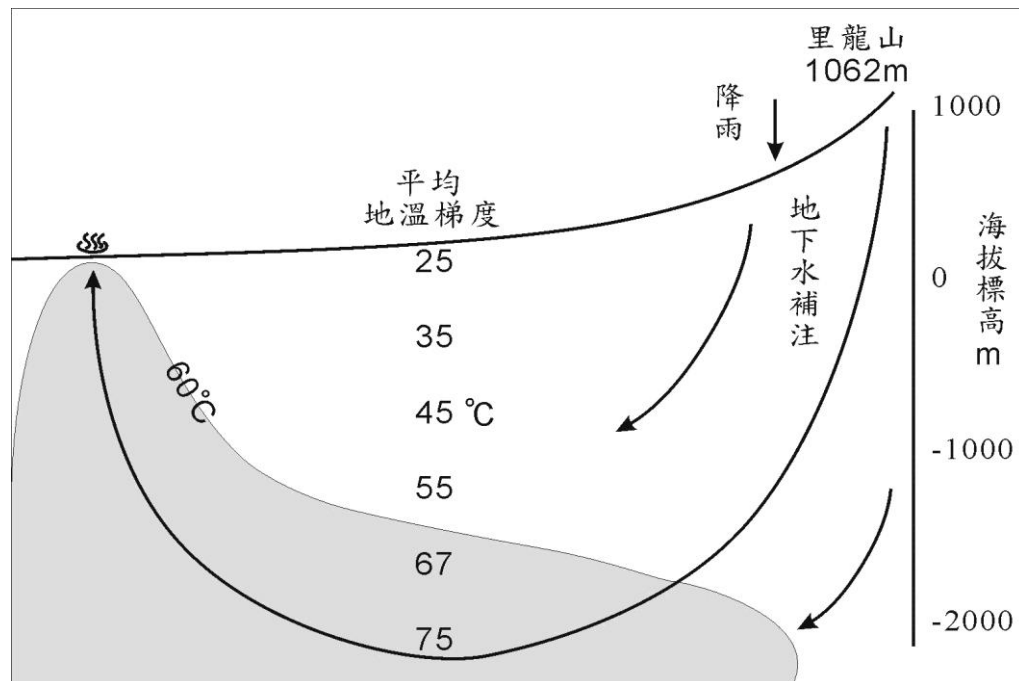


圖 4.3.7 四重溪溫泉之循環模式（沿大梅溪之南北剖面）

四重溪溫泉資源監測調查計畫(2011)

2009 年後，由於屏東縣政府實施總量管制，水位、水溫、導電度等，皆有逐漸回升。至 2011 年 3 月，溫泉水位、溫度、導電度及化學成分下降的現象，已經有所改善。

第五章 結論

1. 四重溪溫泉區於 2011 年的溫泉水位、水質與 2010 年的同期水位、水質幾乎相等，2011 年水位、水質並無發生前幾年持續下降的情形，整體而言，2011 年的全年的溫泉水位亦無明顯下降的趨勢。
2. 降雨對於各井水位都有明顯的上升，但抽水則造成水位下降，抽水頻繁的井（公共浴室及景福井）其因降雨造成水位上升時段較短。
3. 監測點水溫的變化受降雨影響，在 6~9 月雨季時、南臺灣井、景福井水溫明顯下降，而公共浴室水溫上升，推測因補注區降雨，造成上游的補注水壓變大，地下水層壓力升高，深層的熱水往上湧入，導致公共室溫度升高的現象。
4. 由風災大量降水後，溫泉水位略有上升之情況推測，由地表補注的水對於溫泉循環補注有一定的影響，但對於未來期許當地溫泉水位回升仍建議採取總量管制的管理方式。
5. 四重溪其成分鈉離子及碳酸氫根為主，兩者約佔 98%，氯、鈣、鎂、鈉、鉀離子以及硫酸根等濃度皆低（表 4-3-2），差異不大，因此認為碳酸氫鈉為影響當地水質導電度的主要原因。
6. 以公共浴室井為例，連續監測的結果顯示，四重溪溫泉井的水位及導電度於 2007 年至 2009 年間，皆有下降的趨勢。導電度下降

之原因為人為過度超抽溫泉水，導致溫泉水水壓下降，引入附近地表水及淺層地下水的補注，導致其結果。自 2009 年屏東縣政府實施總量管制後，至 2011 年 12 月，本區之水位、水溫、導電度及主要離子成分，皆有逐漸回升。

7. 針對溫泉井的泉質與泉溫的監測方面，可以發現全區溫泉的導電度仍呈現緩慢下降的趨勢，但仍在1600~2100 us/cm的範圍之中；此外，導電度與泉溫的量測易受溫泉抽取的影響而產生偵測值的跳動。



建議

1. 四重溪溫泉區地下水位觀測及溫泉使用量調查期限過短，以及近年來氣候變遷導致趨勢大幅改變，而可能造成現階段資料無法分析之狀況。因此本計畫建議於近年在推估溫泉安全使用量時，先以溫泉地下水位維持穩定為目標即可。
2. 本年度總量管制措施為初擬，而溫泉可用量推估乃為總量管制措施中相當重要的一個參數，因此四重溪溫泉區之總量管制措施也將依上點建議，視條件改變而調整。

參考文獻

Axelsson G., Gunnlaugsson E., Thorgils Jónasson and Magnús Ólafsson ,
“Low-temperature geothermal utilization in Iceland –Decades of
experience” , Geothermics, Volume 39, Pages 329-338 , 2010 。

Custodio, E., Aquifer overexploitation – what does it mean Hydro. J., 10
(2):254-277, 2002 。

Douglas S. Cherkauer., Quantifying ground water recharge at multiple
scales using PRMS and GIS, Ground Water, 42(1): 97-110, 2004 。

Jamshidzadeh Z., S.A. Mirbagheri , “Evaluation of groundwater quantity
and quality in the Kashan Basin, Central Iran” , Desalination, Volume 270,
Pages 23-30 , 2010 。

Yidana S. M., Yakubo B. B., Akabzaa T. M. , “Analysis of groundwater
quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana” ,
Journal of African Earth Sciences, Volume 58, Pages 220-234 , 2010 。

工研院能資所，臺灣地熱探勘資料彙編，經濟部能源局出版，1994 。

工研院能資所，「台灣溫泉水資源之調查及開發利用」，1999－2003 。

工業技術研究院，「台灣溫泉水資源之調查及開發利用(2/4)」，經濟部水利署出版，2001 。

工業技術研究院，「台灣溫泉水資源之調查及開發利用(4/4)」，經濟部水利署出版，2003 。

王仁亨，四重溪溫泉水質變化之研究，嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所碩士論文，2011 。

中央氣象局全球資訊網：<http://www.cwb.gov.tw/V6/index.htm>

玉山資源公司，台北市政府產業發展局 97 年度溫泉監測井設置工程
總結報告書，2008 。

吳育生，「利用觀測井調查分析水平地下水流及含水層海側邊界之研究」，國立成功大學資源工程學系博士論文，2007。

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

宋聖榮、劉佳玫，台灣의溫泉，遠足文化事業股份有限公司，2003。

周順安、蔣立為、歐陽湘；臺灣溫泉水資源潛能探討。水文地質調查與應用研討會論文集，第136-148頁，2003。

林進國，「降雨和地下水位變化之關聯性分析」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，2003。

能邦科技，溫泉蘊藏量推估及開發總量管制評估技術研究 (1/2)，水利署委託研究報告，2007。

陳文福、陳尉平、李孫榮、楊介良，「四重溪溫泉之水位與水溫變化」，農業工程學報，第58卷2期，95-107頁，2008。

陳文福、陳尉平、李孫榮、張廣智，「溫泉生產井兼做水位及水量監測井之可行性」，農業工程學報，第55卷3期，53-63頁，2009。

陳文山，「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，1985。

陳文山，「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，1992。

陸島工程顧問股份有限公司，「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，2003。

陳建良、林啟文、陳文山，「台灣南部恆春半島地殼變形初步研究」，經濟部中央地質調查所特刊，第十六號，55-73頁，2005。

許育誠，「四重溪溫泉水位與水溫變化之研究」，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文，2009。

傅凱彬，「四重溪溫泉群井干擾問題之研究」，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文，2010。

經濟部水利署，「台灣溫泉水資源之調查與開發利用(1/4)」，第15頁，2000。

經濟部水利署網站全球資訊網<http://www.wra.gov.tw/>。

經濟部水利署第七河川局全球資訊網
<http://www.wra07.gov.tw/index.php>。

鄭力瑋、陳文山、黃能偉、顏一勤、楊志成、楊小青、陳勇全、宋時驊，「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，2006。

嘉南藥理科技大學，「溫泉監測系統站址規劃設計」，經濟部水利署委辦計畫，2008。

