

溫泉生產井兼作水位及水量監測之可行性

Feasibility Test of Using Hot Spring Production Well for Monitoring Water Level and Extraction Volume

嘉南藥理科技大學
台灣溫泉研究發展中心

嘉南藥理科技大學
台灣溫泉研究發展中心

嘉南藥理科技大學
台灣溫泉研究發展中心

經濟部水利署
保育事業組

陳文福*

Wen-Fu Chen

陳尉平

Wei-Ping Chen

李孫榮

Sun-Zone Lee

張廣智

Kuang-Chih Chang

摘要

台灣部份溫泉區因溫泉井大量的鑿設，造成溫泉水位下降、水溫降低與露頭消失等。為有效管理溫泉區之溫泉水資源，建立水位監測井、並有效記錄各生產井之抽水量已是當務之急。溫泉區建立新監測井，常需可觀的建井及土地費用，且溫泉產狀各異、山區地質多變，有時雖水平間隔數十至數百公尺，若已離開主裂隙，不一定能鑿到溫泉。但若兼用已有的溫泉生產井監測水位，則能節省費用、時間，並確定監測層次是用水層次等。因國內尚沒有利用生產井來監測水位的前例，技術上仍有許多疑慮。本研究於宜蘭礁溪及屏東四重溪溫泉現地試驗其可行性，在溫泉生產井中放置記錄儀器、進行抽水試驗、分析水位記錄，探討其兼作水位及水量監測之可行性。

結果顯示生產井內抽水機電線通電時的磁場，並不會對自記儀器的訊號線產生干擾與導致誤差。生產井雖然有抽水引起洩降干擾，但洩降的變化有其規則性，且不抽水時水位很快回復，應可代表其靜水位。在礁溪及四重溪不同的水文地質，其反應是一致的。可經由水位記錄之抽水洩降次數，及抽水試驗率定之抽水率，推算出該生產井的日、週、月及年抽水量。本研究認為，在溫泉生產井內裝設水溫水壓計、不僅能提供溫泉水位及水溫的重要數據，尚能推算其抽水量，若能取代水量計，則能節省費用、並簡化溫泉監測儀器種類。

關鍵詞：溫泉，生產井，水位，抽水量，監測。

ABSTRACT

Depletion of hot springs and decreasing of its temperature are due to over-pumping of geothermal aquifers by too many production wells in parts of Taiwan's hot spring areas. It

*通訊作者，嘉南藥科溫泉研究發展中心助理教授，71710 台南縣仁德鄉保安村二仁路一段 60 號，chenwenfu@mail.chna.edu.tw

is necessary to install monitoring wells and equipments to acquire records of water level, temperature and extraction volume for providing data to establish and enforce the management procedures. But it is expensive to construct new wells and is difficult to select appropriate sites to monitor the same fractures where hot spring waters usually are withdrawn in a complex geology of mountain area. We suggest that using the production wells in hot spring areas for monitoring purposes are cost-effective, time-saving and could collect data precisely in target aquifer. However, there is no research on this topic. We conduct tests for the feasibility of using hot spring production well for monitoring water level, temperature and extraction volume in Jiaoshi and Shichongshi, Taiwan.

Our results show that water pressure records does not have signal of noise by submersible pump. Drawdowns induced by pumping of the monitoring production well are significant in about 6 m and water levels are recovered rapidly in minutes to hours when the pump stop. There have the same regularity both in aquifers of porous media (Jiaoshi) and fracture rock (Shichongshi). Extraction volumes of hot spring water for the monitoring production well could be calculated from numbers of pumping drawdown and the known pumping rate. Our results suggest that using production well for monitoring water level and extraction volume of hot spring water is technically and economically feasible.

Keywords: Hot spring, Production well, water level, Extraction volume, monitoring.

一、前 言

台灣因國民日益重視休閒與養生，溫泉區的發展也日益蓬勃，而溫泉需求量日漸增加後，也促使溫泉井大量的鑿設與開發(表 1)。以礁溪溫泉為例，根據宜蘭縣政府調查，溫泉井多達二千餘口(宜蘭縣政府，1992，2000)，學者研究認為有超抽的危險(張智欽，2000；張寶堂，2004)，將使溫泉水位下降、水溫降低。四重溪溫泉的超抽現象，則更為明顯，早年溫泉露頭自然湧出溫泉，但近年因溫泉井大量開發，溫泉露頭因而乾枯消失，目前溫泉區內都需依賴溫泉井抽水，但因自然補注不足，溫泉水位日漸下降，可能已達地下 100 m 深(陸島工程顧問，2004；李和祥，2004)。因此為有效管理溫泉區之溫泉水資源，建立水位監測井、並有效記錄各生產井之抽水量已是當務之急(菊川城司，2003，2005；Leaver 和 Unsworth，2007；Aksoy 等，2008)。

溫泉區欲新建立監測井，有些困難之處，例如需要可觀的建井及土地費用，而且溫泉常產出於斷層裂隙帶，有時雖水平間隔數十至數百公

尺，可是已離開溫泉產出的主裂隙，因此並不一定能鑿到溫泉。若能兼用已有的溫泉生產井監測水位，可有許多優點：例如費用便宜、確定監測層次是用水層次的溫泉、節省鑿井時間等(Hochstein, 1988; Axelsson 和 Dong, 1998; Sarak 等, 2005)。但國內至今、尚沒有利用生產井來監測水位的前例，技術上仍有許多疑慮，例如：業者依賴生產井抽水，因此水位計記錄到是動水位，將造成監測數據之干擾，是否能判讀為區域的靜水位變化？生產井內的抽水馬達，其電線與電流，是否造成水壓計的干擾？

本研究目的、在於現地試驗溫泉生產井兼作水位及水量監測之可行性，選擇宜蘭礁溪及屏東四重溪溫泉進行試驗，因為此兩區完全依賴溫泉井的使用，而且此兩區在水文地質上也有所不同—前者為礫砂層的孔隙介質含水層、後者為砂頁岩的破裂岩含水層(陳肇夏，1989，2000；工研院能資所，1999-2003)。本研究選擇合適的溫泉生產井，放置水壓記錄儀器，並進行必要的抽水試驗，最後分析水位記錄，來探討其兼作水位及水量監測之可行性。

表 1 台灣主要溫泉區的溫泉來源

分區	溫泉區	露頭數	溫泉井數	pH	泉溫 ^o C	導電度 μS/cm
北部	1.陽明山馬槽	3	2	3.3	80	1500
	2.北投行義路	>3		1.5	80	
	3.硫磺谷/地熱谷	>3		2	100	8000
	4.金山		3	6.5	80	9000
	5.烏來	3	5	7.4	83	1600
	6.礁溪	1	2700	7.5	64	1400
	7.蘇澳冷泉	2	1	5.5	21	360
	8.仁澤		1	9.2	98	4500
	9.泰安		12	7.9	47	2200
	10.清泉		1	7.9	39	2100
中部	11.谷關		7	7.7	56	800
	12.廬山	>3	14	8.9	97	2500
	13.奧萬大	2		8.6	54	1100
	14.東埔	>3	0	7.0	61	850
南部	15.關子嶺	2	2	8.2	84	14000
	16.寶來	>3	0	6.8	62	2000
	不老			7.3	47	2600
	17.四重溪	0	16	7.9	50	2100
東部	18.金崙		3	6.2	50	900
	19.知本	2	21	6.6	48	1300
	20.安通			8.8	64	1800
	21.瑞穗			6.6	42	3100
	22.綠島	2	0	7.6	52	54000

資料來源：工研院能資所(2000-2004)

二、試驗井與儀器

2.1 礁溪溫泉試驗井與儀器

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，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40 m，扇尾約5-10 m；十一股沖積扇及湯圍溝沖積扇則較小，但坡度較陡。礁溪溫泉的露頭即位於湯圍溝沖積扇與得子口沖積扇之交界，海拔標高約15-20 m(圖 1)。

本區的鄰近地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。鄰近兩條正斷

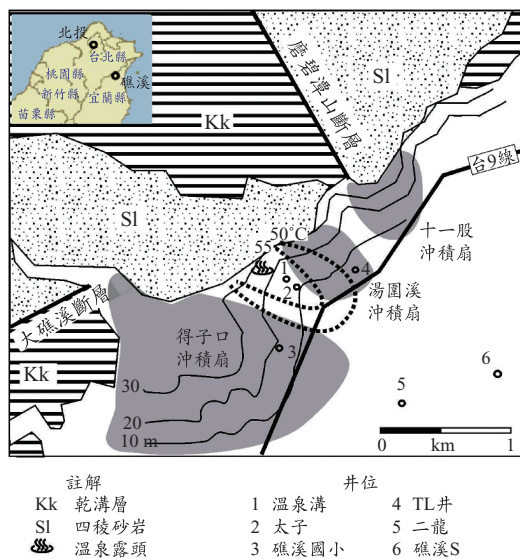


圖 1 礁溪溫泉之流向與水溫分布

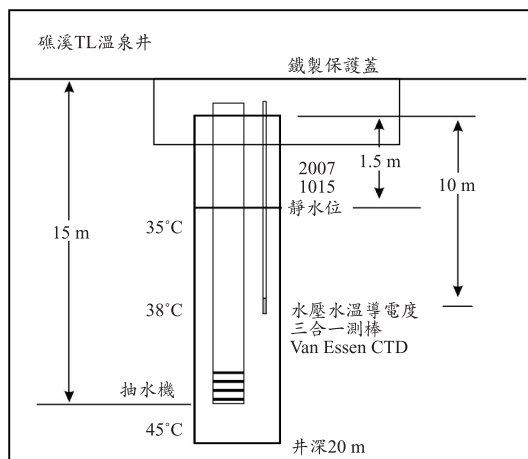


圖 2 礁溪溫泉 TL 生產井與儀器放置深度

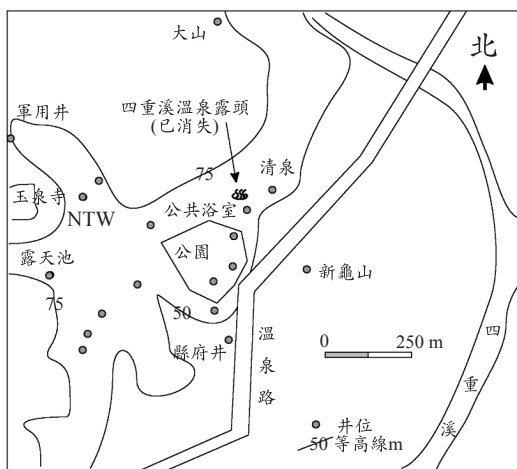


圖 3 四重溪溫泉區溫泉井分布及試驗井位置

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(江新春，1976；黃鑑水與何信昌，1989；林朝宗，2000)。礁溪溫泉的水流通道，很可能由此兩斷層經過的破裂帶中發育，溫泉應經過四稜砂岩，向上流至上覆的砂礫堆積層，此沖積扇堆積層在溫泉源頭處約厚 80-100 m (張寶堂，2004)。礁溪溫泉發源於湯圍溝，向東、東南及西南流動(圖 1)，露頭區泉溫約 55-60°C，外圍一公里後降至 43°C 以下。湯圍溝的溫泉湧出量可達 50 cmh (工研院能資所，1999-2003)，而張智欽(2000)估計為 6.3-19 cmh。

試驗井選在 TL 飯店之溫泉生產井，位於礁溪公園旁，該井井深約 20 m，水位約井口下 1-3 m、水溫約 30-40°C、導電度約 800-1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (劉聰桂，2003)。儀器為荷蘭製 Van Essen 公司之 CTD Diver，為水壓計、溫度與導電度三合一感測計，內含微電腦、可自動記錄(Weir 等，2006；Matthiesen, 2008)，試驗期間設定為每半時一筆自動記錄，然後經由人工以筆記型電腦每月收數據一次(圖 2)。

2.2 四重溪溫泉試驗井與儀器

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

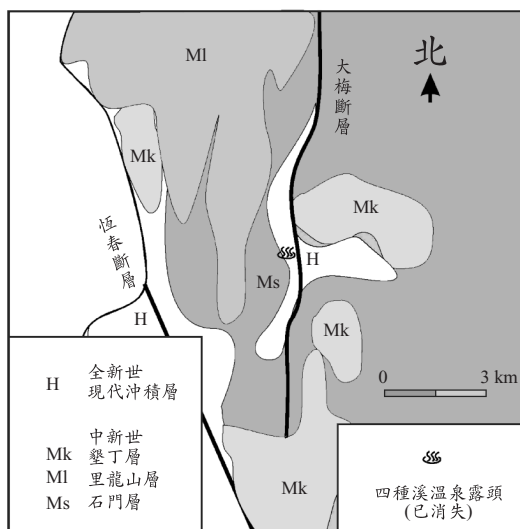


圖 4 四重溪溫泉區附近之地質圖(陳文山等，2006)

溫泉露頭，但可能因溫泉井抽用過度，目前已無湧泉。至 2006 年止，四重溪溫泉共有溫泉井 16 口，分布於南北約 800 公尺、東西約 500 公尺的區域內，兩井間距離約一至二百公尺。溫泉井之深度，最深約 400 公尺、最淺約 200 公尺(圖 3)。

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(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 4)。大梅斷層通過本溫泉區，

表 2 本研究使用之儀器基本規格

品名	檢測項目	範圍	準確度	解析度
荷蘭 Van Essen CTD Diver	溫度	0~80°C	0.1°C	0.01°C
	水壓	1~100 m	0.1%	0.02%
	導電度	0~80mS/cm	1%	0.1%
美國 In-Situ Troll 500	溫度	-20~80°C	0.1°C	0.01°C
	水壓	3.5~351 m	0.25%	0.005%
*加拿大 RST VW2100	溫度	-20~80°C	0.2°C	0.1°C
	水壓	3.5~1000 m	0.1%	0.025%

*加拿大 RST VW2100 為感測器與記錄器分離。

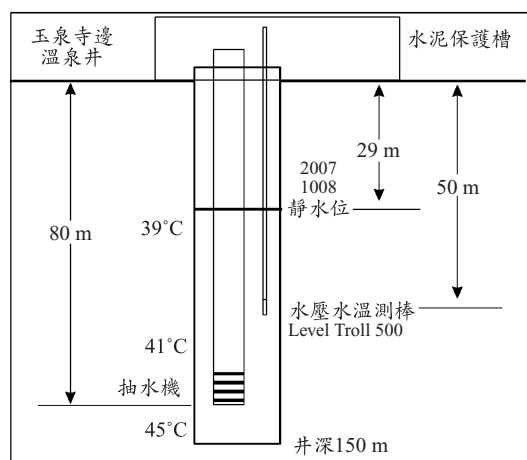


圖 5 四重溪溫泉 NTW 溫泉生產井監測配置

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，應為四重溪溫泉自然補注與循環的重要通道。

試驗井設於玉泉寺旁之代號 NTW 井，該井井深約 150 m，水位約井口下 28-35 m、水溫約 39-45°C、導電度約 1200-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。儀器為美國製 In-Situ 公司之 Level Troll 500 測棒，為水壓計與溫度二合一感測計，內含微電腦可自動記錄 (Roeloffs 等, 2003; Ray 等, 2007)，試驗期間設為每半時記錄一筆，也是經由人工每月收數據一次(圖 5)。

2.3 儀器之耐用度與精準度

本研究試驗之兩種儀器：荷蘭 Van Essen CTD-Diver 和美國 In-Situ Troll 500，兩者的使用範圍皆可達 80°C，但 Van Essen CTD-Diver 不耐長期高熱，原廠建議長期施放之溫度應低於 40°C。本研究施放點的井水溫度約 38-45°C，剛好在臨界點上。本研究於 2007 年 8 月 24 日開始放置，至 2008 年 2 月 19 日故障，大約只能耐用六個月，而原廠設計目標是耐用八年。

美國 In-Situ Troll 500 在設計上可耐高溫 (至 80°C) 長期施放，但經實地測試五口溫泉井，其井水溫度約 33-56°C，其中有兩根測棒放在 45-56°C 的井內，約三個月就故障，放在 41°C 井內者約八個月後故障，只有較低溫 33°C 的井中測棒，監測超過一年多仍正常。

根據原廠表示，此兩類儀器的微電腦電路及記憶體與感測頭組裝一起，浸泡在井水中，因高溫造成電路及電池不正常放電，而使測棒故障。長期而言，此兩種儀器應使用在水溫低於 40°C 的監測井。較高溫的長期監測，應考慮選擇感測器與記錄器分離的機種，即感測器放井下、記錄器放井口上(因記錄器較不耐高溫)，例如加拿大 RST VW2100，已在水溫 45-55°C 的溫泉井中測試一年仍正常運作。

水壓感測的準確度可達 0.1-0.25%，即 1 m 的水位變動，誤差約 1-2.5 mm，就抽水量及水位管理而言，此準確度已非常夠用。溫度的準確度，約正負 0.1°C，解析度為 0.01°C，若溫泉水的溫度範圍是 30-80°C，對長期監測也已足夠。

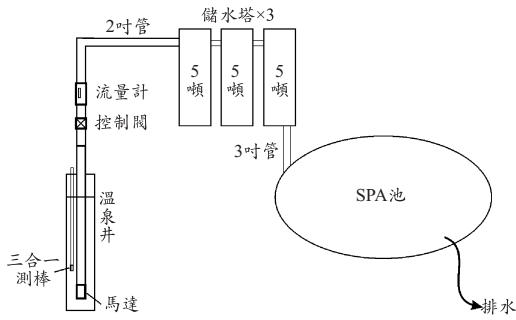


圖 6 礁溪溫泉 TL 生產井抽水試驗之配置

校準所需要之頻度，視監測目的及容許誤差而定。長期的區域性溫泉水位水溫觀測，若誤差在水位 ± 1 cm、溫度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，應可接受。水壓計的校準方法，以標準水位量尺量測比對、溫度以標準溫度計比對。本研究試驗期間，除了故障送修之測棒外，其餘測棒連續監測一年，都仍在此誤差範圍內，顯示放置礁溪及四重溪的溫泉井內儀器，其校準所需要之頻度大於一年。

三、單井抽水試驗

爲了瞭解礁溪 TL 井的出水效率及地層特性，進行了單井的分級、定量與回升試驗(Shapiro 和 Oki, 2000; Pasandi 等, 2008)。於 2008 年 4 月 9 日開始，配置如圖 6。抽水量分成四級，由小至大爲 1.37、1.86、9.30、11.00 cmh，各抽水 60 分鐘。分級試水的主要目的在於找出該井的最適抽水量(又稱安全出水量)，公式如下：

$$s = BQ + CQ^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

- & : 洩降(m)
- B : 水層損失係數
- C : 水井損失係數
- Q : 抽水量(cmh)

將 s/Q 對抽水量 Q 作圖，可得出 B 值爲 0.49， C 值爲 0.027，該井之最適抽水量約爲 9 cmh，其水井效率約 67% (圖 7)。

因水量需求較大，業者該溫泉井的抽水量常設於 15 cmh，本次試驗之定量試水以此水量抽水 4 小時，將抽水洩降對抽水歷時之半對數作圖，曲線大致分成兩段，若以前段求 T 值爲 0.016 m^2/min (圖 8A)。

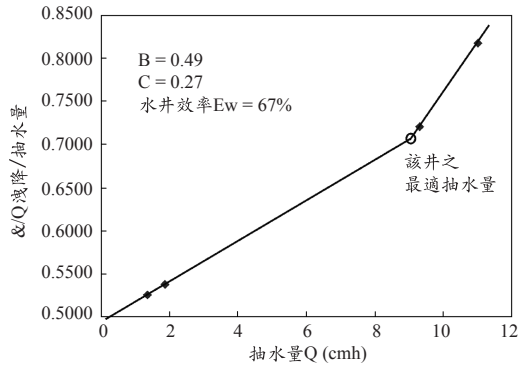


圖 7 礁溪溫泉 TL 生產井效率分析

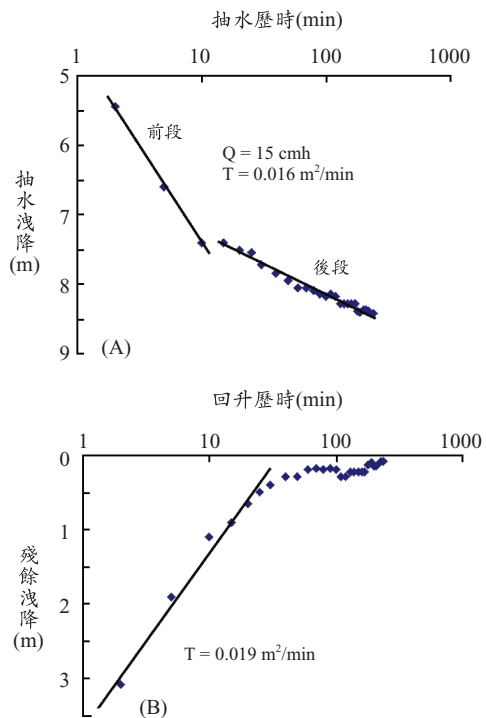


圖 8 礁溪溫泉 TL 生產井定量(A)與回升(B)結果

公式如下：

$$T = \frac{Q}{328\Delta s} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$\Delta s = s_2 - s_1$ 半對數座標上任取一對數時間週期之洩降差 $Q = 15$ cmh 抽水量

$$T = \frac{Q}{328\Delta s} = \frac{15}{328 \times 2.85} = 0.016 \text{ m}^2 / \text{min}$$

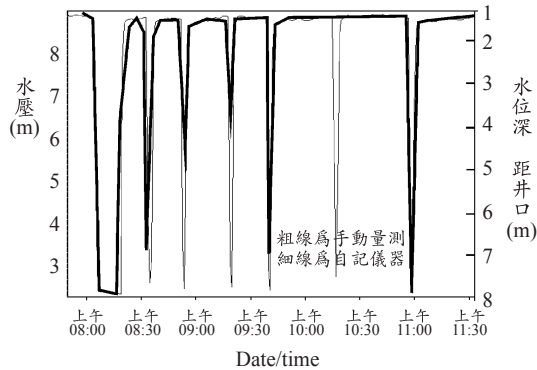


圖 9 礁溪 TL 溫泉井之自記水壓與人工量測水位比對

定量抽水停止後，水位回升的殘餘洩降如圖 8B。定量抽水 4 小時之最大洩降為 8.42 m，停抽後 2 分鐘內水位回升 5 m（殘餘洩降約 3.0 m）、20 分鐘時殘餘洩降只剩約 0.5 m。

四、礁溪溫泉之試驗結果

4.1 抽水機通電是否造成干擾

電子式的儀器裝設於生產井內，井內的抽水機電線通電時造成磁場，是否會對自記儀器的訊號線產生干擾，使發出異常之電流，導致誤差。此一問題可由人工手量水位與自記儀器記錄比對試驗來推斷之，於 2007 年 10 月 16 日上午 8-12 時，隨機抽水七次，每次抽水時間約 5-10 分鐘，自記儀器與人工量測都設為每分鐘一次。結果如圖 9，自記儀器與人工量測之水壓(水位)比對後發現，人工量測比較不精確。人工量測除了錯過一次抽水洩降，並且最大洩降也沒有充份量出。可能在一分鐘的區間內人工作業，並無法準時完成，有時過早有時過晚，另外手提式水位計沾到井壁的水珠，或有誤判為已到水位的可能。茲因手量水位與自記水壓大致穩合，誤差部份乃因手量之精密不足所至，在此初步結果比對顯示，並未發現抽水機會造成自記儀器之記錄異常。

4.2 辨別本井與鄰井抽水記錄

本研究於 2007 年 8 月 15 日開始自記儀器的室內試驗，8 月 24 日於 TL 溫泉井現地試驗，放置

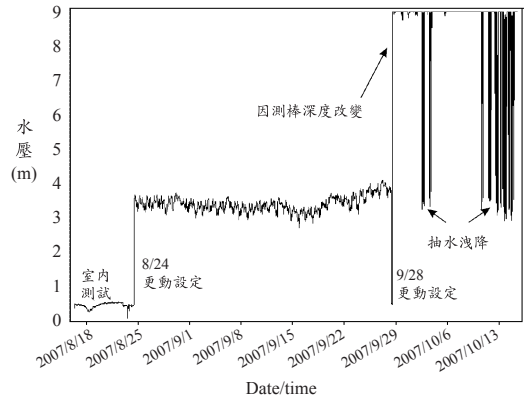


圖 10 礁溪 TL 溫泉井 96 年 8 月 24 日-10 月 15 日之水壓記錄

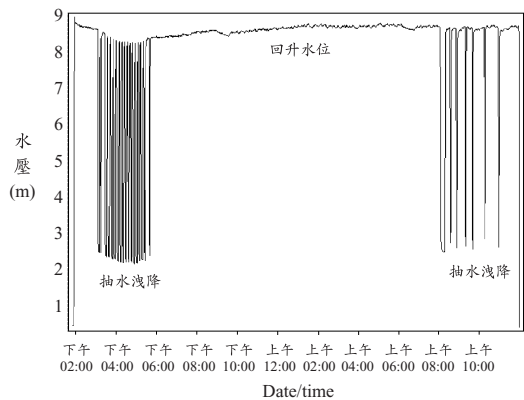


圖 11 礁溪 TL 溫泉井 10 月 15 至 16 日一天的水壓記錄

深度距井口為 4.5 m 處，9 月 28 日將放置深度改為距井口 10 m（因預期泡湯旺季水位可能變深）。8 月 24 日至 10 月 15 日的水壓記錄顯示，10 月前該井應沒有抽用，水溫約 35.5-36.1°C，10 月抽用較為頻繁，每次抽水洩降約 6 m（圖 10）。

10 月 15 日(星期一)中午至 16 日中午進行一天的抽水背景觀測，頻率為每分鐘一筆，結果如圖 11。該井抽水行為可分成兩段，下午 3 點至 6 點及上午 8 點至 12 點，又以下午的抽水次數較多，可達 20 次，上午約 7 次，每次抽水時間約十餘分鐘、洩降約 6 m，水位回升很快(約在 10 分鐘內)。例如 10 月 16 日上午的抽水，約於 8 時 5 分開始抽水，8 時 7 分水位達穩定狀態，

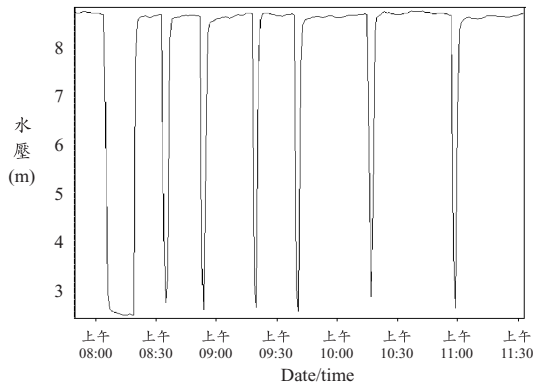


圖 12 礁溪 TL 溫泉井抽水之洩降

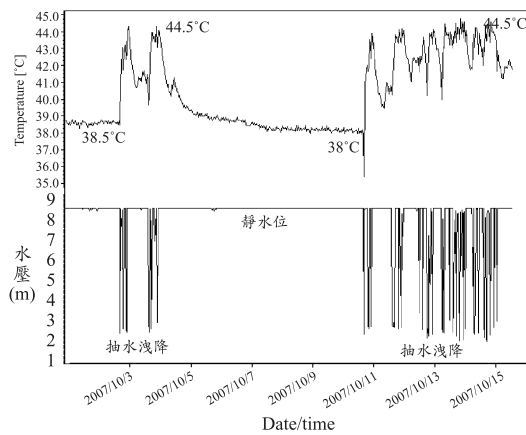


圖 13 TL 溫泉井抽水引起井內溫度升高

至 8 時 19 分停止抽水，8 時 20 分水位即回升至接近原水位(圖 12)。

記錄中發現溫度會因抽水而改變，此水溫改變乃因地層中熱水之補充，例如圖 13 所示，不抽水時溫度約為 38.5°C，抽水後水溫增為 44.5°C，停止抽水後，溫度再緩緩降為 38.5°C，此井內散熱的時間約需六天(圖 14)。因為此井抽水的時間都很短，約十數分鐘，而水壓的回升很快，約 5-10 分鐘便可回升至原水位，如果以一小時的頻率記錄，可能會錯過短期的抽水行為，但是水溫每次變動後，都需數天才回復原溫度，因此從水溫記錄可以明顯分別本井抽水或是受到他井抽水的干擾。

本口井沒有抽水時的水壓變化約在 1 m 之內、水溫在 0.5°C 之內(圖 15)。本井沒有抽水

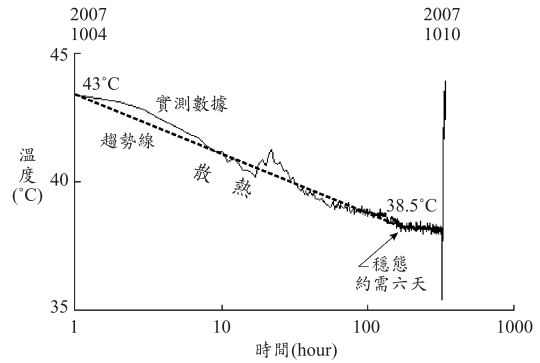


圖 14 TL 溫泉井停止抽水後之散熱速率

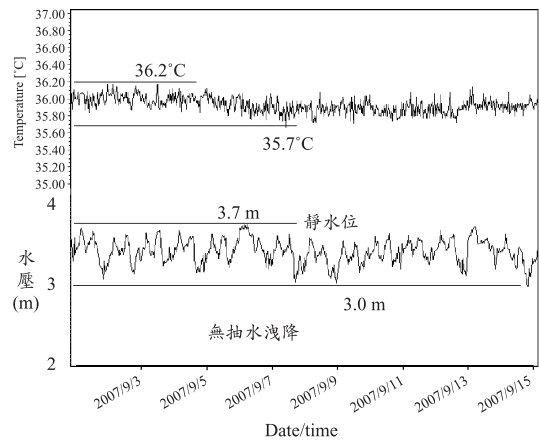


圖 15 TL 溫泉生產井之本井並無抽水時之記錄

時，有明顯的他井抽水效應，鄰井每天有兩次抽水時段：早上 7-11 時和傍晚 6-10 時；也有些微的週變化，通常於周五晚開始，水壓下降最多，周一至周四水壓漸漸回升；溫泉井監測點的溫度變化，於周五晚溫度最低，周六至周日溫度最高(圖 16)。

由以上討論可知，經由溫度和水位變化的多寡，可以判斷抽水記錄是反應本井抽水的洩降、或是鄰井及區域抽水所造成。因為本井抽水洩降很大，通常高達 6 m、造成的水溫變化也達 6°C；而鄰井抽水的洩降只有約 0.7 m、造成的水溫也只有約 0.5°C。本井停止抽水後，水位回升很快，雖然會有少量的殘餘洩降，但並不妨礙區域性的水位判讀，因此區域的靜水位應可由剔除抽水洩降記錄後得之。

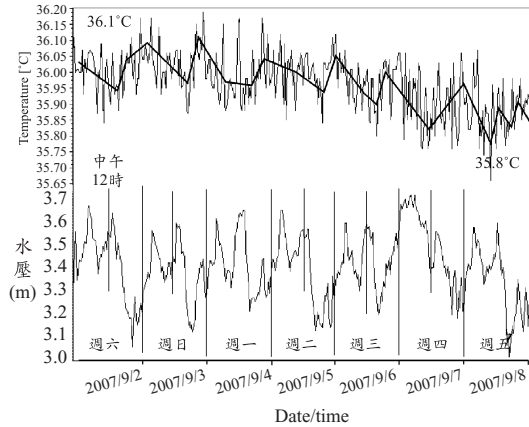


圖 16 TL 溫泉生產井之一週靜水壓及水溫變化

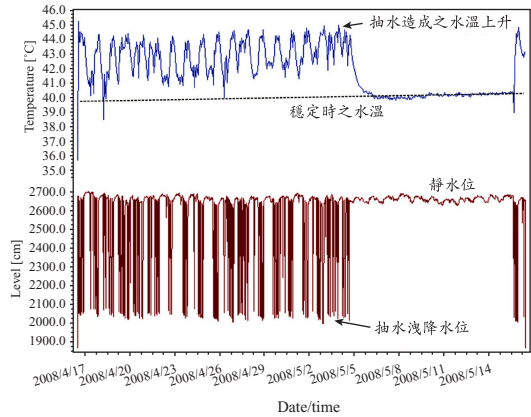


圖 18 TL 溫泉井一個月的水位與水溫記錄(2008 年 4 月 16 日至 5 月 16 日)

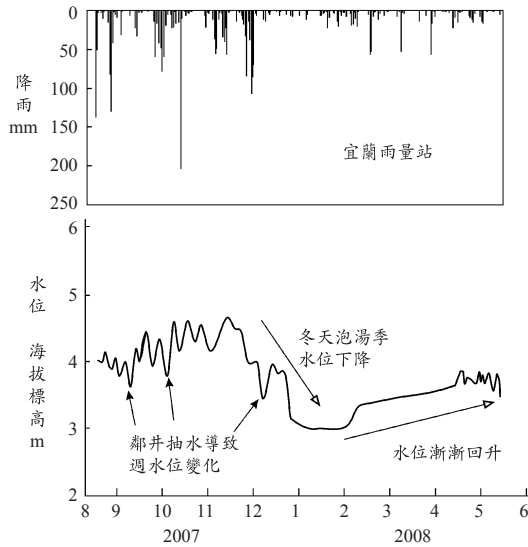


圖 17 TL 溫泉井之水位與降雨比對(2007 年 8 月至 2008 年 5 月)

2007 年 11 月至 2008 年 5 月間、TL 井之水溫及水壓(剔除抽水洩降)監測試驗結果如圖 17。此約九個月的靜水位變化，於 11 月時最高，12 月開始水位下降，1-2 月最低，水位下降約 1.5 m。可能因進入冬天後天氣轉冷，泡湯人口增加，例假日時也有明顯的水位下降，約 0.2-0.5 m。水位最低的 1-2 月，適逢新曆年假及春節假日，業者表示這段時間，遊客人數及住房率都是一年中最高的，因此溫泉水量需求也為一

年中最多時，所以也反應在水位監測數據上，造成水位低下，過了春節假日後，水位就緩緩上升。

水位變化和降雨可能有些相關，例如 8-12 月為雨季、此時水位約上升 0.5 m；12 月以後相對降雨較少，日降雨量大都在 20 mm 以下、且降雨的天數也較少，此時的水位也較低，但因抽水的影響很大，因此仍需持續觀測，要待後續研究，才能比較清楚此一問題。

4.3 抽水量統計

因為井的效率在短期內並不會有很大的變化，如果抽水機的馬力、放置深度、抽水管徑等不變，實務上可將溫泉井的抽水行為視為定量抽水。基於前述的抽水試驗可知，以 15 cmh 的水量抽水時，產生的穩態洩降約 6-7 m，因此可由洩降記錄中的延時來回推累積抽水量。

以 2008 年 4 月 16 日至 5 月 16 日一個月的水位記錄為例(圖 18)，推算該月之月抽水量。該月為每半小時一筆數據，故共有 1440 筆記錄，其中水壓(未經海拔標高等校正)在 2600-2800 cm 時為靜水位或回升後的水位，可視為不抽水情況下；2000-2100 cm 則明顯為抽水之水位(表 3)。界於 2100 cm 至 2600 cm 之間只有 40 筆，可能是抽水一開始，水位尚未降至 2100 cm 以下，或是抽水已停止，水位正回升中。如果取中間值 2350 cm，即小於 2350 cm 的記錄則視為抽水位

表 3 礁溪 TL 井的水壓記錄統計

水壓 (cm)	筆數
2000-2100	185
2100-2200	8
2200-2300	6
2300-2400	4
2400-2500	8
2500-2600	14
2600-2700	1204
2700-2800	11
總數	1440

時間：20080416-20080516

(由水溫上升達 4°C、也可確認此點)，統計結果有 201 筆，每筆代表半小時的抽水，因此共累積 100.5 小時的抽水，其抽水率為 15 cmh，兩數相乘，該月抽水量為 1507.5 噸。將來長期數據累積下，除可推算日、週、月之抽水量、尚可推算年抽水量。

抽水量也是溫泉管理的重要數據，但因費用、耐熱及積垢等問題，溫泉水量計的安裝仍不普及。以上研究顯示，裝設於溫泉生產井內的水位計不僅能提供溫泉水位及水溫的重要數據，尚能推算其抽水量，若能取代水量計，則能節省費用、並簡化溫泉管理監測流程。

五、四重溪溫泉

四重溪溫泉 NTW 井，業者抽水時也有明顯的洩降，水位降約 6 m (從水壓 21.5 m 降至 15.5 m)，溫度上升約 4°C (從 40.7°C 上升至約 44.5°C)，但水位在停止抽水後、即很快回升 (圖 19)。從 2007 年 10-11 月的記錄中，除了 11 月初時，此口井每天定期抽一至兩次，早上約 7 點抽一次、晚上 9 點一次，每次抽 4 分鐘，因為抽水時間太短，而儀器記錄時間間隔為半小時，故在水位記錄上常無法顯示有抽水洩降，但因水溫冷卻較慢，因此每次的抽水，可以反應在水溫記錄上 (圖 20)。

剔除抽水洩降後，可得出靜水位的記錄，圖 21 顯示有很明顯的日循環曲線，推測臨近溫泉井的抽水有日變化。從 2007 年 10 月至 2008 年 4

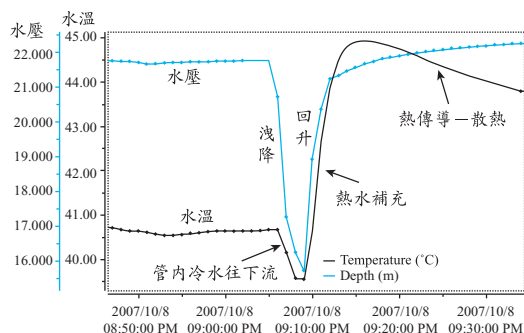


圖 19 四重溪 NTW 溫泉井抽水之洩降與水溫記錄

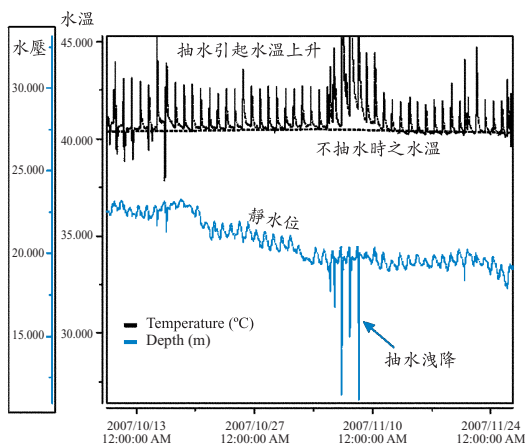


圖 20 四重溪 NTW 溫泉井的水位與水溫記錄(2007 年 10 月 10 日至 11 月 28 日)

月的水位記錄看出，此約六個月的水位呈現持續下降的趨勢，約從海拔標高 43 m、下降至 35 m，下降幅度達 8 m，平均每個月下降約一公尺多。尤其以國定假日時，水位下降更明顯，例如農曆春節時下降達 3-4 公尺。

NTW 井抽水量的推算：本井的抽水機為沉水式 5 馬力，抽水率固定為 5.3 cmh，2007 年 10 月若每天抽一次、每次抽水約 4 分鐘，累計共抽用約 2 小時，故 10 月的抽水量為 10.6 噸。

六、結論與建議

生產井雖然有抽水引起洩降干擾，但洩降的變化有其規則性，且不抽水時水位很快回復，應可代表其靜水位。不同的水文地質，其反應是一致的。在礁溪及四重溪的試驗，發現可從水位及

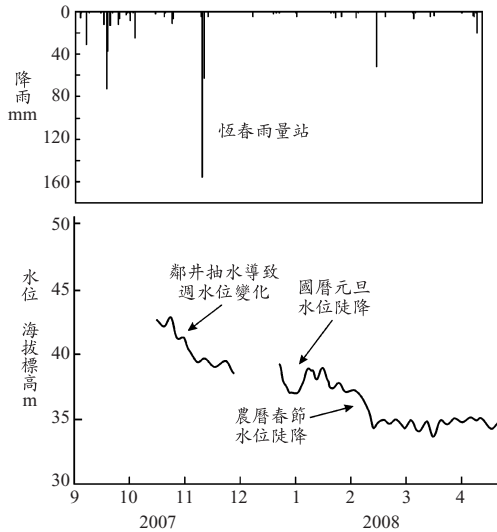


圖 21 四重溪 NTW 溫泉井之水位與降雨比對(2007 年 10 月 8 日至 2008 年 4 月 31 日)

水溫變化，辨識出本井抽水或它井抽水，據以將本井抽水洩降剔除，即可得到靜水位記錄。若不是要求監測至數公分級的變化，以生產井長期監測，可看出十公分至數公尺的月或年變化，即可達到溫泉水位管理的目的。

經由人工手量水位與自記儀器記錄比對試驗推論，抽水機電線通電時的磁場，並不會對自記儀器的訊號線產生干擾與導致誤差。且人工量測、在時間及水位上都比較不精確。

可經由水位記錄之抽水洩降次數，及抽水試驗率定之抽水率，推算出該生產井的日、週、月及年抽水量。本研究認為，在溫泉生產井內裝設水溫水壓計、不僅能提供溫泉水位及水溫的重要數據，尚能推算其抽水量，若能取代水量計，則能節省費用、並簡化溫泉管理監測流程。

生產井監測儀器的安裝，應輔導業者申請水權，並可以補助部份儀器費用，增加業者安裝儀器的意願。實際安裝儀器時，配合業者不抽水的时间或抽水馬達定期檢修，在馬達吊出地面整修後，隨著連接馬達之抽水管，以不鏽鋼絲固定綁緊於抽水管，儀器電纜也隨馬達電纜，與抽水管平行綁牢，漸次垂入地下，只留約一公尺的數據連接頭，以供電腦連接收取數據。

誌 謝

感謝經濟部水利署對於本研究經費上支持、王昭堡科長及耿承孝小姐之協助。感謝經濟部中央地質調查所費立沅組長、成大資源工程系李振誥教授、成大地球科學系吳銘志教授、台灣省應用地質技師公會周順安理事長、雲林科技大學溫志超教授、台北縣鑿井業公會黃漢勇顧問對於本研究寶貴的建議。感謝嘉南藥理科技大學溫泉研究所余光昌所長、觀光系張翊峰主任、環工系甘奇銓教授、台灣溫泉研究發展中心助理李和祥、劉禹鐘先生的協助。

參考文獻

1. 工研院能資所(1999-2003)，「台灣溫泉水資源之調查及開發利用」。水利署委託。
2. 江新春(1976)，「宜蘭平原之震測」。礦業技術，第 14-6 期，第 212-221 頁。
3. 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。
4. 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。
5. 林朝宗(2000)，「五萬分之一台灣地質圖幅說明書—新店」，圖幅第九號，經濟部中央地質調查所，共 77 頁。
6. 宜蘭縣政府(1992)，「礁溪溫泉地物及鑽井探勘」。
7. 宜蘭縣政府(2000)，「礁溪溫泉資源調查、監測與利用計畫」。
8. 菊川城司(2003)，「箱根火山溫泉溫度、湧出量及水位之觀測結果。神奈川縣溫泉地學研究所報告」，第 35 卷，第 79-90 頁。
9. 菊川城司(2005)，「木賀溫泉自然湧泉、宮城野第 6 號源泉之經年變化。神奈川縣溫泉地學研究所報告」，第 37 卷，第 45-50 頁。
10. 黃鑑水、何信昌(1989)，「五萬分之一台灣地質圖幅說明書—頭城」，圖幅第十號，經濟部中央地質調查所，共 29 頁。

11. 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。
12. 張寶堂(2004),「礁溪溫泉調查與開發之研究」。國立台北科技大學材料及資源工程系碩士論文。
13. 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。
14. 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。
15. 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。
16. 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。
17. 陳肇夏(1989),「台灣的溫泉和地熱」。地質,第 9 卷,第 2 期,第 327-340 頁。
18. 陳肇夏(2000),「溫泉及地熱資源」。臺灣能源礦產及地下水資源,經濟部中央地質調查所,第 142-160 頁。
19. 劉聰桂(2003),「台灣陸上斷層活動性之環境地球化學調查研究(4/5)—北部地區: B 地下水化學成分變化報告」。國立台灣大學地質學系,經濟部中央地質調查所委託。
20. Aksoy, N., Serpen, U. and Filiz, S. (2008) "Management of the Balcova-Narlidere geothermal reservoir, Turkey." *Geothermics*, 37(4), 444-466.
21. Axelsson, G. and Dong, Z. (1998) "The Tanggu geothermal reservoir (Tianjin, China)." *Geothermics*, 27(3), 271-294.
22. Hochstein, M.P. (1988) "Assessment and modeling of geothermal reservoirs (small utilization schemes)." *Geothermics*, 17(1), 15-49.
23. Matthiesen, H. (2008) "Detailed chemical analyses of groundwater as a tool for monitoring urban archaeological deposits: results from Bryggen in Bergen." *J. Archae. Sci.*, 35(5), 1378-1388.
24. Leaver, J.D. and Unsworth, C.P. (2007) "Fourier analysis of short-period water level variations in the Rotorua geothermal field, New Zealand." *Geothermics*, 36(6), 539-557.
25. Pasandi, M., Samani, N., and Barry, D.A. (2008) "Effect of wellbore storage and finite thickness skin on flow to a partially penetrating well in a phreatic aquifer." *Advan. Water Resour.*, 31(2), 383-398.
26. Ray, A.M. and Inouye, R.S. (2007) "Development of vegetation in a constructed wetland receiving irrigation return flows." *Agric. Ecosys. Environ.*, 121(4), 401-406.
27. Roeloffs, E., Sneed, M., Galloway, D.L., Sorey, M.L., Farrar, C.D., Howle, J.F., and Hughes, J. (2003) "Water-level changes induced by local and distant earthquakes at Long Valley caldera, California." *J. Volcan. Geoth. Res.*, 127(3-4), 269-303.
28. Sarak, H., Onur, M. and Satman, A. (2005) "Lumped-parameter models for low-temperature geothermal fields and their application." *Geothermics*, 34(6), 728-755.
29. Shapiro, A.M. and Oki, D.S. (2000) "Estimating formation properties from early-time oscillatory water levels in a pumped well." *J. Hydrol.*, 236(1-2), 91-108.
30. Weir, F.M., Hughes, M.G. and Baldock, T.E. (2006) "Beach face and berm morphodynamics fronting a coastal lagoon." *Geomorphology*, 82(3-4), 331-346.

收稿日期：民國 97 年 11 月 18 日
 修正日期：民國 98 年 2 月 23 日
 接受日期：民國 98 年 3 月 10 日