

關子嶺溫泉泉質特性與可能形成機制之初步研究

張竝瑜^a 梁俊煌^b 蔡瀛逸^a 蔡利局^a 陳煜斌^a 林秀雄^c

^a經濟部水利署暨嘉南藥理科技大學 台灣溫泉研究發展中心

^b嘉南藥理科技大學 運動管理學系

^c嘉南藥理科技大學 環境工程與科學系

摘要

本研究針對關子嶺溫泉泉質、泉量，在 2004 年進行為期一年之研究調查，結果顯示警光山莊溫泉露頭之泉溫介於 80°C—84°C 之間，而火王爺廟溫泉經抽取至暫置井之時，除了 2004 年 12 月之泉溫較低，僅為 54 °C 外，其他月份之泉溫介於 69 °C—76 °C 之間，顯示警光山莊及火王爺廟兩地溫泉泉溫均為中高溫，尤以警光山莊為高，且泉溫穩定。警光山莊溫泉露頭之湧出量介於 29 L/min—37 L/min 之間，每日約 40—53 公噸，而火王爺廟溫泉處直到 2004 年 5 月底後溫泉再度湧出，經抽取至暫置井之時，此初期流量每分鐘約 4.5 公升(即每日約 6.5 噸)，2004 年 6 月至 12 月之湧出量介於 20 L/min—42 L/min 之間，每日約 29—60 噸。經抽取至暫置井之時，湧出量介於 4.5 L/min—20 L/min 之間，警光山莊之溫泉露頭湧出量較為穩定，且平均湧出量多於火王爺廟處之溫泉抽取湧出量。根據中央氣象局資料顯示，本區月平均雨量集中於六月至九月。然而警光山莊溫泉流量自六月至九月有稍降之趨勢。顯示其補注來源應為深層循環之地熱水，與近期之地區區域性降雨補注並無直接關係。另外雖然火王爺處溫泉流量紀錄僅有半年，然八月之降雨高峰與溫泉流量之突增趨勢相符，顯示火王爺處溫泉可能受地區降雨補注之一部分地下水混入。由整個長期觀測發現關子嶺溫泉之溫泉比重愈大，蒸發殘留物量愈多，且兩地之溫泉湧出量與溫泉比重呈負相關，此外，溫泉比重與溫泉含水率之間的關係亦呈反比。警光山莊及火王爺廟兩處溫泉之溫泉泉質一致，過渡金屬成份以鐵離子(Fe³⁺)含量最多，鈉離子(Na⁺)為陽離子之主要成份，警光山莊溫泉露頭與火王爺廟處溫泉兩處之鈉離子平均值分別為 4027±438 mg/L、3629±119 mg/L，而陰離子以氯離子(Cl⁻)及碳酸氫根離子(HCO₃⁻)為主要成份，警光山莊溫泉露頭與火王爺廟處溫泉兩處之氯離子(Cl⁻)平均值分別為 2871±252 mg/L、2815±337 mg/L，而兩處碳酸氫根離子平均值依序分別為 6289±14 mg/L、4570±241 mg/L。平均而言，警光山莊溫泉露頭之上述三項溫泉主要成份均高於火王爺廟處之溫泉濃度，尤其以碳酸氫根離子濃度差異較大，初步推斷警光山莊溫泉露頭之溫泉來源應為深層循環之地熱水，不受近期天水補注之影響，而火王爺應混入較多之淺層地下水，由於溫泉由地底深處冒出時，溫泉水於地表接觸空氣或與地下水混合之過程中，部分碳酸鹽類礦物可能沉澱析出，加上淺層地下水可能也含較低之碳酸氫根離子濃度，造成火王爺露頭含有較少之碳酸氫根離子，雖然兩處之溫泉露頭之判為同一構造裂隙之不同位置，均屬沉積岩型溫泉，但就泉質分類而言，警光山莊溫泉露頭之溫泉可分類為碳酸氫鈉氯化物泉，而王爺廟處溫泉分類為氯化鈉

碳酸氫鹽泉。

關鍵字：溫泉、泉質、關子嶺

A Preliminary Research of Water Chemistry and Possible Mechanisms of Hot Springs in the Kuanzeling Area

Ping-Yu Chang^a Chun-Huang Liang^b Yi-I Tsai^a Li-Jyur Tsai^a I-Pin Chen^a Shioh-Shyung Lin^c

^aTaiwan Hot Spring Research Center, Chia Nan University of Pharmacy & Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.

^bDepartment of sports management, Chia Nan University of Pharmacy & Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.

^cDepartment of Environmental Engineering and Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan 71701, R.O.C.

ABSTRACT

A long-term observation of water chemistry and flow rates has been conducted at two hot spring outcrops, the Policeman Recreation Institute (PRI) and the Huowangye Temple (HT) in Kuanzeling area in 2004. The results of flow rate observation show that the PRI hot spring has a relatively steady flow rate between 29 L/min—37 L/min. Compared with the precipitation records in the Tainan area, flow rates of the PRI hot spring show a different trend to the local precipitation. The flow rate of PRI hot spring decreases during June, July, August and September, and the average monthly precipitation was higher during these months. Flow rates of the HT hot spring show a larger variation between 20 L/min—42 L/min. The peak of high precipitation in August matches with the peak of a high flow rate of HT hot spring. This suggests the geothermal fluid of HT hot spring may have mixed with shallow groundwater or precipitation. Water chemistry analysis shows that the HT and the PRI hot springs have a similar cation and anion compositions. The HT hot spring has a less bicarbonate concentration (4570 ± 241 mg/L) than the PRI hot spring (6289 ± 14 mg/L). The difference of bicarbonate concentrations can be explained by mixing in the HT hot spring.

Keywords : Hot Spring, Water Chemistry, Kuanzeling

一、前言

關子嶺溫泉區位於台南縣白水溪中游白河水庫之東南方，北距嘉義市約 30 公里，南距新營市約 25 公里，行政區隸屬於台南縣白河鎮(白河鎮東境)。關子嶺地區於日據時期(清光緒 24 年，1889 年)，由屯駐的日軍在關子嶺東北麓山谷發現溫泉，由於日本人熱衷溫泉

泡浴，因此從日據時代開始，日人便著手開發利用關子嶺溫泉。關子嶺溫泉泉溫約攝氏 75~80 度，氫離子濃度為 8，屬鹼性碳酸泉，由於湧出時夾帶地下岩層泥質與礦物質，泉水呈現灰黑色，泉質屬混濁之泥漿溫泉，又有「黑色溫泉」或「泥巴溫泉」之稱。本區溫泉使用者以旅館業為主，現有共約 21 家溫泉旅社，溫泉來源主要來自二處天然湧泉(警光山莊旁及火王爺廟下方)。依工研院『台灣溫泉水資源之調查及開發利用(3/4)』報告，上述二處溫泉日湧出量僅約 60 立方公尺，但全部業者平均每日使用量卻在 800 立方公尺以上，因此泉量明顯嚴重不足。為提供本區溫泉之永續經營管理參考，本研究於去年(2004)，針對關子嶺地區二處天然溫泉露頭之泉質、泉量，進行為期十一個月之長期監測。各項分析均依照環保署公告之檢驗方法、研究文獻、日本標準方法及 Standard method APHA 相關檢測標準方法進行。其中，泉溫、泉量、PH 值之檢測頻率為每月一次，而陰陽離子、重金屬離子與沉積物放射性檢測頻率則為約每四個月一次。本研究之目的希望經由初步分析本區溫泉露頭之溫泉組成異同，以及溫泉泉質、泉量之常年變化關係，以協助釐清了解本區溫泉生成之機制，提供前述溫泉永續利用及進一步詳細研究之參考。

二、地質概況與前人研究

關子嶺溫泉區位於台灣西部麓山帶內的未變質岩區，固結岩盤岩性主要以泥質之砂頁岩地層為主。根據經濟部中央地質調查所出版的「關子嶺圖幅與說明書」等資料，區內出露的重要地層包括中新世的南港層、長枝坑層與中崙層，上新世的鳥嘴層與沄水溪層，以及全新世的階地堆積層等。本區岩層大致呈東北—西南走向，約略與區域性的主要地質構造走向一致(圖 1)。本區地質構造發達，主要之地質構造則有關子嶺背斜、關子嶺向斜、六重溪背斜、枕頭山斷層、崙後斷層、六重溪斷層、與檳榔山斷層等，六重溪斷層等。關子嶺溫泉區露出的地層係以泥質細砂岩與頁岩為主的鳥嘴層，此類岩層的孔隙率小，透水率低，因此不利於地下水的儲集與流動傳輸。六重溪斷層從本區西南向東北延伸，橫貫關子嶺市區中心，並由關子嶺派出所附近通過，至關子嶺北方為枕頭山斷層截切，為一高角度逆斷層，本區警光山莊旁之溫泉露頭位置即位於此斷層帶之通過線上。根據聯合大地工程顧問公司(2000)關子嶺溫泉井鑽鑿工作第一階段泉源地質調查工作報告書，地電阻影像剖面圖呈現在西北東南方向之測線範圍內，有兩處低地電阻區域，第一處為剖面上 100~230 公尺，深度 70~300 公尺以下，位置位於六重溪斷層通過線上，顯示六重溪斷層應為一向東傾之高角度逆斷層；而第二處為剖面上 440~570 公尺，深度 180~300 公尺以下，與關子嶺背斜之軸部位置大致一致。

關子嶺溫泉之形成根據過去研究有兩種來源：(1)地層水，陳肇夏(1975)說明關子嶺溫泉區，在巨厚泥岩層深埋地下的地區，由於強大壓力作用下會將含在岩石內的水分擠出地面，這些地層水在上升過程中順便也將泥岩內的部份組成物質帶上，因而成為混濁的泥泉。如果這些地層水來自地下三公里以下的深處，則形成熱泥泉。(2)構造控制之天水補注，認為本溫泉區的溫泉水源來自地表的地表水供應，此地表水沿構造裂隙滲入地下儲水層，受

地層溫度影響而升溫，摻和了地下天然氣後經由斷層構造上升，拌合著斷層破碎帶及周圍的泥質物質湧出地表而形成泥漿溫泉。根據中油公司的鑽探資料顯示，下伏於鳥嘴層之下的長枝坑層在本區的地下厚度達 650 公尺，其岩性是以細粒砂岩為主，而根據工研院取自警光山莊露頭泥漿之超微化石分析(2005)資料則顯示其可能來自於鳥嘴層下部之岩層，推測為本區溫泉的地下儲集地層應來自於鳥嘴層下部岩層以及長枝坑層。

三、研究結果

本研究針對關子嶺溫泉泉質、泉量，在 2004 年進行為期十一個月之研究調查，結果顯示警光山莊溫泉露頭之泉溫介於 80°C—84°C 之間，而火王爺廟溫泉經抽取至暫置井之時，除了 2004 年 12 月之泉溫較低，僅為 54 °C 外，其他月份之泉溫介於 69 °C—76 °C 之間，顯示警光山莊及火王爺廟兩地溫泉泉溫均為中高溫，尤以警光山莊為高，且泉溫穩定。警光山莊溫泉露頭之湧出量介於 29 L/min—37 L/min 之間，每日約 40—53 公噸，而火王爺廟溫泉處直到 2004 年 5 月底後溫泉再度湧出，經抽取至暫置井之時，此初期流量每分鐘約 4.5 公升(即每日約 6.5 噸)，2004 年 6 月至 12 月之湧出量介於 20 L/min—42 L/min 之間，每日約 29—60 噸。經抽取至暫置井之時，湧出量介於 4.5 L/min—20 L/min 之間，警光山莊之溫泉露頭湧出量較為穩定，且平均湧出量多於火王爺廟處之溫泉抽取湧出量。根據中央氣象局資料長期平均降雨量顯示，本區月平均雨量集中於六月至九月。然而警光山莊溫泉流量自六月至九月有稍降之趨勢。明顯與降雨之變化趨勢不同(圖 2)，顯示其補注來源為深層循環之地熱水，與近期之地區區域性降雨補注可能無直接關係。另外雖然火王爺處溫泉流量紀錄僅有半年(圖 3)，然月平均雨量所呈現之八月之降雨高峰與溫泉流量之突增有一致之趨勢，比對 2004 年之各月降雨平均變化之資料發現，2004 年各月降雨之歷線呈現三次之降雨高峰，而火王爺之流量變化歷線也同時呈現三次之流量高峰期，但降雨與溫泉流量高峰之發生則有約一個月之延遲。顯示火王爺處溫泉可能受地區降雨補注之一部分地下水混入。由整個長期觀測發現關子嶺溫泉大致上之流量愈大，PH 值有降低之趨勢，尤以火王爺溫泉露頭之流量增加之歷線變化呈現與 PH 值降低一致之趨勢(圖 4)。

警光山莊及火王爺廟兩處溫泉之溫泉泉質以鈉離子(Na^+)為陽離子之主要成份(表一)，警光山莊溫泉露頭與火王爺廟處溫泉兩處之鈉離子平均值分別為 4027±438 mg/L、3629±119 mg/L，而陰離子以氯離子(Cl^-)及碳酸氫根離子(HCO_3^-)為主要成份，警光山莊溫泉露頭與火王爺廟處溫泉兩處之氯離子(Cl^-)平均值分別為 2871±252 mg/L、2815±337 mg/L，而兩處碳酸氫根離子平均值依序分別為 6289±14 mg/L、4570±241 mg/L。平均而言，警光山莊溫泉露頭之上述三項溫泉主要成份均高於火王爺廟處之溫泉濃度，尤其以碳酸氫根離子濃度差異較大。由水質菱型圖分析顯示，警光山莊與火王爺兩處之溫泉泉質十分接近，警光山莊露頭之溫泉泉質為碳酸氫鈉氯化物泉 (Water type: $\text{Na-HCO}_3\text{-Cl}$)，火王爺露頭之溫泉泉質則為氯化鈉碳酸氫鹽泉 (Water type: Na-Cl-HCO_3)。進一步分析陰陽離子當量組成，雖然二處之陰離子含量中以氯離子與碳酸氫根離子為主要成分。然而警光山莊所採取之溫泉水樣中，

碳酸氫根離子當量要較氯離子當量為高，而火王爺之溫泉水樣中氯離子當量則要較碳酸氫根離子為高，因此造成溫泉分類上之略有不同。初步推斷警光山莊溫泉露頭之溫泉來源應為深層循環之地熱水或地層水，較不受近期天水補注之影響，而火王爺應混入較多之淺層地下水，由於溫泉由地底深處冒出時，溫泉水於地表接觸空氣或與地下水混合之過程中，部分碳酸鹽類礦物可能沉澱析出，加上淺層地下水可能也含較低之碳酸氫根離子濃度，造成火王爺露頭含有較少之碳酸氫根離子。

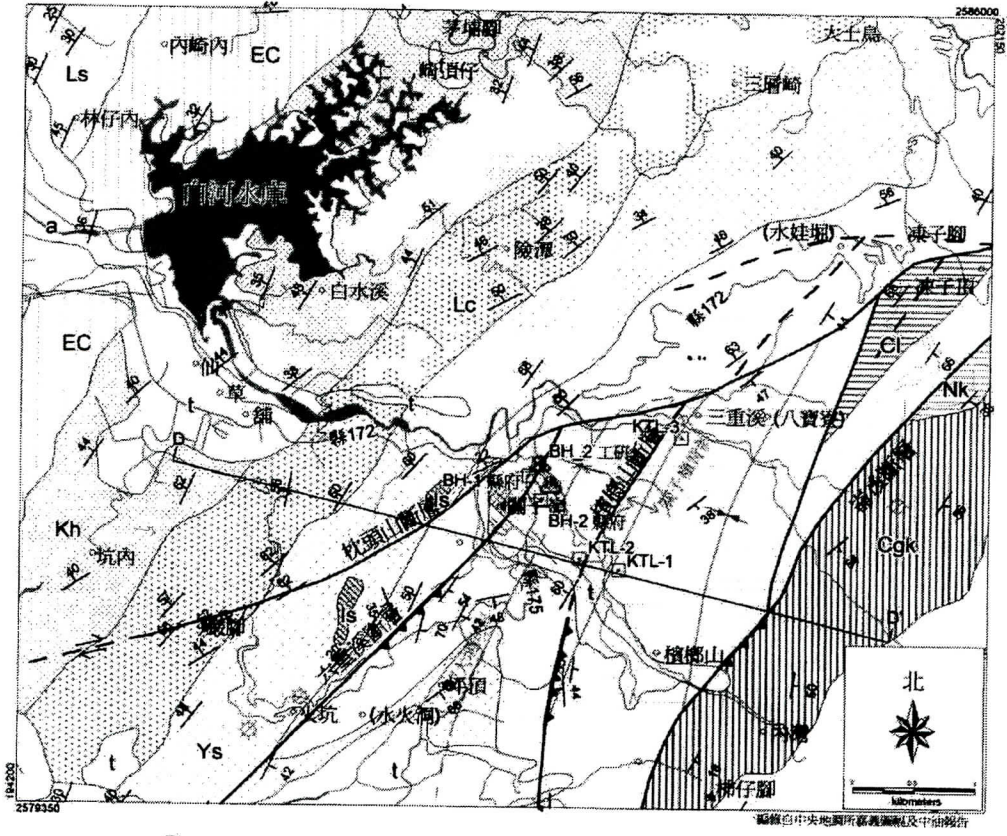
四、結論與未來研究方向

本研究分析警光山莊及火王爺廟兩處兩處溫泉之泉質，結果發現警光山莊露頭之溫泉泉質為碳酸氫鈉氯化物泉 (Water type: Na-HCO₃-Cl)，火王爺露頭之溫泉泉質則為氯化鈉碳酸氫鹽泉 (Water type: Na-Cl-HCO₃)。兩處水質組成大致相近，然而警光山莊所採取之溫泉水樣中，碳酸氫根離子當量要較氯離子當量為高，而火王爺之溫泉水樣中氯離子當量則要較碳酸氫根離子為高，因此造成溫泉分類上之略有不同。溫泉露頭之泉質泉量變化，比對區域平均月降雨量變化之歷線，初步可以推斷警光山莊溫泉露頭之溫泉來源應為深層循環之地熱水或地層水，較不受近期天水補注之影響，而火王爺應混入較多之淺層地下水，由於溫泉由地底深處冒出時，溫泉水於地表接觸空氣或與地下水混合之過程中，部分碳酸鹽類礦物可能沉澱析出，加上淺層地下水可能也含較低之碳酸氫根離子濃度，造成火王爺露頭含有較少之碳酸氫根離子。由於根據地球物理及地質資料判斷，警光山莊位於六重溪斷層通過線上，由於六重溪斷層為一向東傾之高角度逆斷層，因此其斷層面破裂帶有可能成為地熱水上升之通道。警光山莊露頭可能位於此一主要破裂帶通道之中心位置，因此流量較為穩定。而火王爺則受來自側向之淺層地下水補注，造成流量變化較大。未來之研究工作，將進行逐月之雨水、地表逕流及溫泉之基本水質分析以進一步驗證其來源推論與計算不同來源之溫泉水混合程度。另外，由於本區之溫泉產生之通道受構造控制，因此未來應進一步釐清本區構造之破裂面導水程度，以及構造之連通情形以進一步找出天水補注之來源區域。

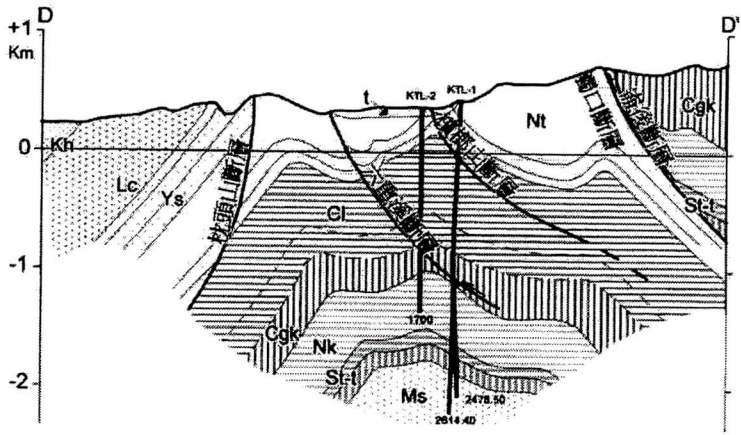
參考文獻

1. 工研院能資所(2003)，「台灣溫泉水資源之調查及開發利用(3/4)新增加三處調 2. 查區」期末報告，經濟部水利署。
2. 工業技術研究院(1998)，「關仔嶺溫泉、泉質、泉量探測工作期末報告」，台南縣政府。
3. 陳肇夏(1975)，「台灣溫泉成因與地質探勘之我見」，地質，第 1 卷，第 2 期，第 107-108 頁。
4. 陳肇夏(1989)，「台灣的溫泉與地熱」，地質，第 9 卷，第 2 期，第 327-339 頁。
5. 陳肇夏(2000)，「溫泉與地熱資源；從地質觀點看台灣溫泉」，全國溫泉觀光會議專刊。

6. 聯合大地工程顧問股份有限公司(2000),「關子嶺溫泉井鑽鑿工作第一階段泉源地質調查工作報告書」,台南縣政府。
7. 工業技術研究院(2005),「台南縣白河鎮關仔嶺溫泉資源調查及規劃設計」期末報告」,台南縣政府。



編自中央地質調查所區域圖及中幅報告



圖例																					
全新世	<table border="0"> <tr> <td>a</td> <td>沖積層</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>階地堆積層</td> </tr> <tr> <td>Ls</td> <td>六雙層</td> </tr> <tr> <td>Ec</td> <td>二重溪層</td> </tr> <tr> <td>Kh</td> <td>坑下寮層</td> </tr> <tr> <td>Lc</td> <td>六重溪層</td> </tr> </table>	a	沖積層	t	階地堆積層	Ls	六雙層	Ec	二重溪層	Kh	坑下寮層	Lc	六重溪層								
a	沖積層																				
t	階地堆積層																				
Ls	六雙層																				
Ec	二重溪層																				
Kh	坑下寮層																				
Lc	六重溪層																				
上新世	<table border="0"> <tr> <td>Ys</td> <td>湮水溪層</td> </tr> <tr> <td>Nt</td> <td>烏嘴層</td> </tr> <tr> <td>Cl</td> <td>中崙層</td> </tr> </table>	Ys	湮水溪層	Nt	烏嘴層	Cl	中崙層														
Ys	湮水溪層																				
Nt	烏嘴層																				
Cl	中崙層																				
中新世	<table border="0"> <tr> <td>Cgk</td> <td>長枝坑層</td> </tr> <tr> <td>Nk</td> <td>南港層</td> </tr> </table>	Cgk	長枝坑層	Nk	南港層																
Cgk	長枝坑層																				
Nk	南港層																				
	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>溫泉</td> </tr> <tr> <td></td> <td>氣苗</td> </tr> <tr> <td></td> <td>向斜軸</td> </tr> <tr> <td></td> <td>背斜軸</td> </tr> <tr> <td></td> <td>岩層之走向及傾斜</td> </tr> <tr> <td></td> <td>剖面位置</td> </tr> <tr> <td></td> <td>溫泉</td> </tr> <tr> <td></td> <td>氣苗</td> </tr> <tr> <td></td> <td>水系</td> </tr> <tr> <td></td> <td>探勘井</td> </tr> </table>		溫泉		氣苗		向斜軸		背斜軸		岩層之走向及傾斜		剖面位置		溫泉		氣苗		水系		探勘井
	溫泉																				
	氣苗																				
	向斜軸																				
	背斜軸																				
	岩層之走向及傾斜																				
	剖面位置																				
	溫泉																				
	氣苗																				
	水系																				
	探勘井																				

圖 1 關子嶺地質圖及地質剖面圖(資料來源：經濟部中央地質調查所)

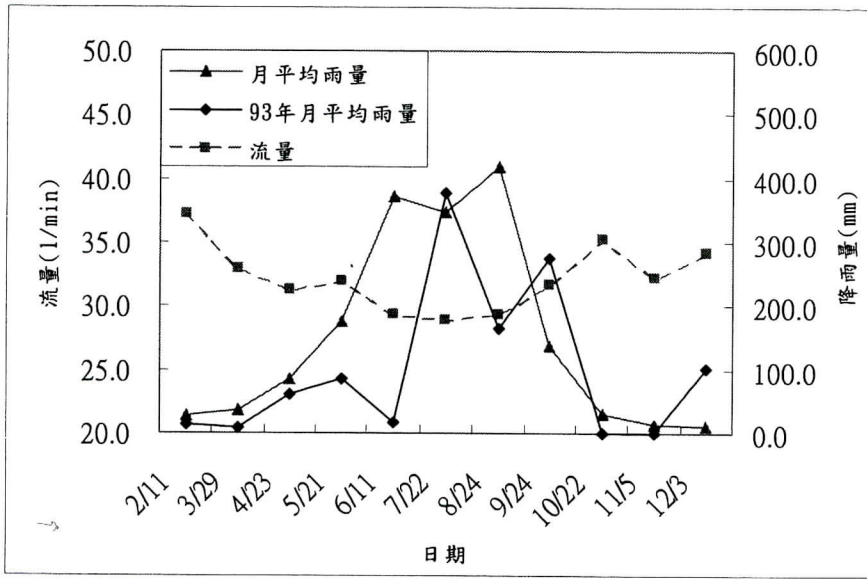


圖 2 關子嶺溫泉區警光山莊露頭之溫泉流量與月平均降雨量變化歷線

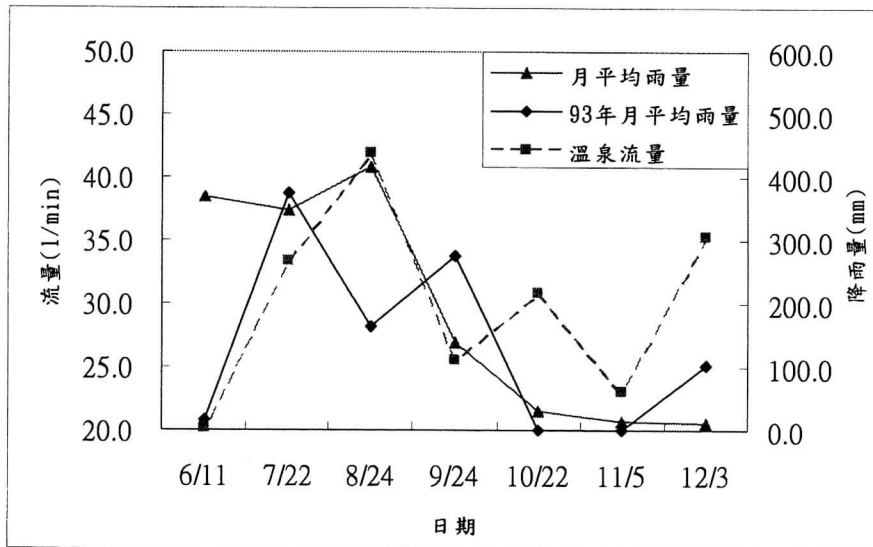


圖 3 關子嶺溫泉區火王爺露頭之溫泉流量與月平均降雨量變化歷線

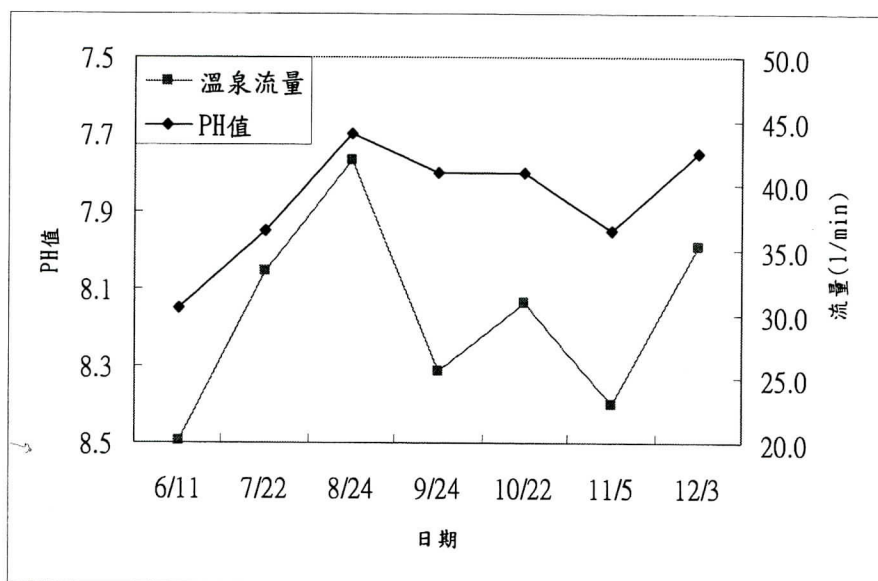


圖4 關子嶺溫泉區火王爺露頭之溫泉流量與PH值變化歷線(注意:圖中PH值之刻度表示被反轉以呈現其變化趨勢)

表1 關子嶺風景區泉泥漿溫泉之平均泉質

泉質檢測項目	警光山莊		火王爺廟	
	平均值	標準偏差	平均值	標準偏差
1. 陽離子成分 (mg/L)				
(1) 鈉離子(Na ⁺)	4027	438	3629	119
(2) 鉀離子(K ⁺)	163.6	37.0	174.5	17.4
(3) 鈣離子(Ca ²⁺)	2.97	0.95	4.04	0.32
(4) 鎂離子(Mg ²⁺)	5.75	0.99	5.73	0.99
2. 陰離子成分 (mg/L)				
(1) 硫酸根離子(SO ₄ ²⁻)	14.4	1.6	30.3	15.5
(2) 碳酸根離子(CO ₃ ²⁻)	26.9	5.4	16.3	6.0
(3) 碳酸氫根離子(HCO ₃ ⁻)	6289	14	4570	241
(4) 氯離子(Cl ⁻)	2871	252	2815	337