

陽明山溫泉、地熱資源與利用調查

受委託者：中國地質學會

研究主持人：宋聖榮

研究助理：邱淑美

陽明山國家公園管理處

中華民國九十四年十二月

目次

表次	-----	III
圖次	-----	IV
摘要	-----	VI
第一章 緒論	-----	1
第一節 計畫緣起	-----	1
第二節 研究目的	-----	2
第二章 研究區域地質概況	-----	3
第一節 大屯火山群的火山作用	-----	3
第二節 大屯火山群的溫泉地質	-----	8
第三節 大屯火山群的火山會不會再噴發	-----	9
第三章 研究方法	-----	13
第四章 陽明山溫泉地熱的分布	-----	16
第一節 溫泉分布	-----	16
第二節 地熱分布	-----	29
第三節 熱水換質區域分布	-----	42
第五章 溫泉地球化學	-----	45
第一節 溫泉化學特性	-----	45
第二節 陽明山國家公園內溫泉的主要成分	-----	50
第三節 陽明山國家公園內溫泉主要成分每月分析結果	-----	56
第四節 溫泉同位素	-----	95
第六章 溫泉地熱的成因	-----	99
第一節 溫泉成因概述	-----	99
第二節 陽明山國家公園內的溫泉成因	-----	105
第七章 溫泉使用現況和變遷	-----	109
第一節 溫泉使用現況	-----	109
第二節 溫泉使用變遷	-----	115

第八章 結論與建議	117
第一節 結論	117
第二節 建議	119
參考書目	120
附件一：溫泉地熱期中簡報會議記錄	127
附件二：溫泉地熱期末簡報會議記錄	129



表次

表一：陽明山國家公園內溫泉之座標、高程和特徵	20
表二：世界各國地熱發電和直接利用統計表(1995 年)	38
表三：世界上地熱、風力、太陽能 and 潮汐發電等四種替代能源統計表	39
表四：陽明山國家公園內各溫泉之水質和水化學組成	53
表五：陽明山國家公園內各溫泉現地量測溫度、電導度、pH 值和 TDS 值之結果	58
表六：陽明山國家公園內各溫泉之陰離子分析結果	70
表七：陽明山國家公園內各溫泉之陽離子分析結果	83
表八：沉積岩區與火山岩區溫泉水之硫同位素($\delta^{34}\text{S}$ ，單位‰)分析結果	96
表九：溫泉使用現況分析統計表	109
表十：行義路溫泉區現有溫泉使用調查成果表	110
表十一：陽明山溫泉區現有溫泉使用調查成果表	111
表十二：冷水坑溫泉區現有溫泉使用調查成果表	112
表十三：小油坑溫泉區現有溫泉使用調查成果表	113
表十四：馬槽溫泉區現有溫泉使用調查成果表	113

學明一國書局

圖次

圖一：臺灣北部簡要地質和火山分佈圖	-----	3
圖二：大屯火山群主要火山體的分布，形成一開口向東北的凹陷地形	-----	4
圖三：大屯火山群火山岩年代分佈圖	-----	5
圖四：大地應力與岩漿活動的關係	-----	6
圖五：大屯火山群地下地質剖面圖	-----	6
圖六：大屯火山群火山活動演化史	-----	7
圖七：火山噴發前岩漿活動可能的前兆	-----	9
圖八：大屯火山群地區微震分佈圖	-----	11
圖九：大屯火山群氬同位素分析結果	-----	11
圖十：大屯火山群斷層、溫泉和熱水換質區的分佈圖	-----	12
圖十一：計畫執行步驟流程圖	-----	15
圖十二：陽明山國家公園內溫泉的分布	-----	28
圖十三：地熱儲存層模式圖	-----	30
圖十四：大屯火山群北投地區地熱探勘井岩性柱狀圖	-----	33
圖十五：大屯火山群馬槽地區地熱探勘井岩性柱狀圖(I)	-----	34
圖十六：大屯火山群馬槽地區地熱探勘井岩性柱狀圖(II)	-----	35
圖十七：大屯火山群馬槽地區地熱探勘井岩性柱狀圖(III)	-----	36
圖十八：大屯火山群馬槽地區地熱探勘井岩性柱狀圖(IV)	-----	37
圖十九：冰島全國產生暖氣使用能源方式統計圖	-----	39
圖二十：陽明山國家公園內熱水換質區域分布圖	-----	42
圖二十一：陽明山國家公園內溫泉中之陰、陽離子濃度投影在 Piper 圖上	-----	50
圖二十二：大屯火山區溫泉採集地點分布圖	-----	57
圖二十三：硫磺谷溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖	-----	61
圖二十四：鼎筆橋上游溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖	-----	62
圖二十五：湖山溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖	-----	63
圖二十六：冷水坑溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖	-----	64
圖二十七：馬槽溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖	-----	65
圖二十八：七股溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖	-----	66

圖二十九：大油坑溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖	67
圖三十：八煙溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖	68
圖三十一：四磺坪溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖	69
圖三十二：硫磺谷溫泉陰離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	74
圖三十三：鼎筆橋上游溫泉陰離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	75
圖三十四：湖山溫泉陰離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	76
圖三十五：冷水坑溫泉陰離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	77
圖三十六：馬槽溫泉陰離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	78
圖三十七：七股溫泉陰離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	79
圖三十八：大油坑溫泉陰離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	80
圖三十九：八煙溫泉陰離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	81
圖四十：四磺坪溫泉陰離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	82
圖四十一：硫磺谷溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	86
圖四十二：鼎筆橋上游溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	87
圖四十三：湖山溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	88
圖四十四：冷水坑溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	89
圖四十五：馬槽溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	90
圖四十六：七股溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	91
圖四十七：大油坑溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	92
圖四十八：八煙溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	93
圖四十九：四磺坪溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖	94
圖五十：大屯火山群氫同位素分析結果	97
圖五十一：大屯火山群溫泉水與其他物質硫和硼同位素比值圖	98
圖五十二：火山岩區溫泉形成示意圖	103
圖五十三：沉積岩區溫泉形成示意圖	103
圖五十四：變質岩區溫泉形成示意圖	104
圖五十五：大屯火山群之地熱溫泉的形成模式示意圖	105
圖五十六：大屯火山群之地熱溫泉的形成模式示意圖	107
圖五十七：大屯火山群之地熱溫泉的形成模式示意圖(本研究)	108

摘 要

關鍵詞：大屯火山群、岩漿、地熱、溫泉、溫泉成因

一、研究緣起

過去幾年在觀光局的大力提倡之下，台灣的溫泉熱達到極點，使得台灣泡湯人口急劇增加，但同時也可能造成某些知名溫泉點溫泉不足、面臨匱乏的危機。政府為了能使溫泉能有效的利用且永續經營，特別立的溫泉法，期盼台灣地區的溫泉能有效管理和經營。而在有效管理和經營溫泉之前，就必須全盤了解各地方溫泉的分布、特性和成因，以及利用現況，才能更近一步的落實如何規劃、有效管理和經營。陽明山國家公園管理處有鑑於此，故提出再對園區內的溫泉做詳細的溫泉泉源與利用現況調查的計畫。

二、研究方法及過程

一、文獻蒐集分析：

蒐集並分析陽明山國家公園內各溫泉系統過去相關地質、構造、水文、地形或研究報告等文獻資料。各項資料主要是來自於政府單位、學術機關及民間單位的出版品。

二、現場調查和樣本採集：

- 1、地表地質調查：進行現場溫泉地質調查工作，可以了解溫泉露頭的所在位置、和岩性及岩層的關係、區域地質構造和溫泉徵兆的分布範圍等。
- 2、溫泉現地水質分析：在野外現場即刻對溫泉水體中的溫度、總固容量（TDS）、酸鹼值（pH；現地量測）、電導度（現地量測）等進行量測。
- 3、溫泉使用現況調查：進行現場溫泉使用現況進行記錄和調查。
- 4、溫泉現地採樣：野外採取溫泉樣本。

三、室內實驗室樣本分析：

採獲的水樣攜回實驗室後，對其水體中的鈉離子(Na^+)、鉀離子(K^+)、鎂離子(Mg^{++})、鈣離子(Ca^{++})和矽離子(Si^{+4})等陽離子，以及氟離子(F^-)、氯離子(Cl^-)、溴離子(Br^-)、硝酸

陽明山溫泉、地熱資源與利用調查

根離子(NO_3^-)、硫酸根離子(SO_4^{2-})、磷酸根離子(PO_4^{3-})等陰離子，進行分析實驗。陽離子用感應耦合電漿—原子發射光譜儀(ICP-AES)分析，而陰離子則用離子層析儀(IC)分析。

三、重要發現

- 1、陽明山國家公園內的溫泉分布共有 25 處，主要是沿著金山斷層的兩側分布，自北而南依次為大磺嘴、雙重橋、頂北投、龍鳳谷、行義路、湖山、鼎筆橋、陽明路、小隱潭、陽明山、中山樓、胡宗南墓、後山、冷水坑、竹子湖、小油坑、馬槽、磺溪、七股、下七股、大油坑、八煙、翠林橋、四磺坪和(火庚)子坪等。
- 2、陽明山國家公園內的地熱資源主要蘊藏於一條長約 18 公里、寬約 3 公里成東北走向的地帶，地下基盤為巨厚的五指山砂岩層內，該地層厚度最少有一千公尺。
- 3、陽明山國家公園內的熱水換質區域遍佈各溫泉區和曾有噴氣孔活動的地區。
- 4、陽明山國家公園內的溫泉主要可分為酸性硫酸鹽溫泉、酸性硫酸鹽氯化物泉和中性的碳酸鹽溫泉。
- 5、本研究計畫針對陽明山國家公園內 9 個溫泉點：硫磺谷、鼎筆橋、湖山、冷水坑、馬槽、七股、大油坑、八煙和四磺坪等九個溫泉，每月採取一個樣本，以監測陽明山國家公園內各溫泉系統的水質和水化學隨季節(主要為乾季和雨季)的變化，因監測的時間短數據有限，每月所量測的資料雖有變化，但很難據此推斷控制變化的可能因素，若有可能未來應該做長期的監測研究。
- 6、陽明山國家公園內溫泉地熱的成因，主要是受控來自於地底下深處岩漿的熱和火山氣體、五指山層砂岩內的黃鐵礦和地層鹵水、降雨循環往下的天水和覆蓋其上的安山岩岩體等。

- 7、過去陽明山國家公園內溫泉地熱系統的使用方式，包括有浴場洗澡的用水、地熱發電、熱帶園藝花卉、蔬菜作物等的試驗溫室及木材乾燥試驗室。現在大部分用於溫泉餐廳、溫泉浴室、SPA 理療館和溫泉旅館等。

四、主要建議事項

- 1、陽明山國家公園處應善用溫泉法的正式公佈實施，對於園區內的溫泉做好的規劃開發利用、管理與保育等工作。
- 2、陽明山國家公園內的地熱資源是全台灣溫度最高、蘊藏量最豐富的地區，對於園區內的地熱資源，在不破壞自然環境的前提下，以及克服材料腐蝕的問題後，似乎可考慮重新規劃開發地熱發電，以供應陽明山國家公園內及鄰近地區。
- 3、教育是推廣一般大眾了解大自然、進而愛護自然生態環境的最佳方式。故建議陽管處應在各溫泉景觀區或溫泉露頭設立教育解說牌，以及多舉辦溫泉地熱教育研習的活動，讓一般民眾在欣賞地熱溫泉景觀的同時，也能對他的形成有所了解，進而培養愛護自然生態環境之心。
- 4、建議陽管處應結合台北市政府和各學術機構或民間團體，在陽明山國家公園內設立溫泉水資源的監測站，以追蹤了解溫泉開發利用的同時，對於自然生態環境的影響。

ABSTRACT

Keywords: Tatun Volcano Geoup, magma, geotherm, hot spring, genesis of hot spring

1. Introduction

The bathing of hot spring becoming so popular was resulted from the Tourism Bureau promoted the usages of hot springs for increasing the populations of tourism in Taiwan in past several years. However, increasing the usages of hot spring also faced the crisis of shortage and pollution of them in several famous hot-spring spots. For sustainable development of hot spring in Taiwan, the government made a law to manage it. Accordingly, it should to understand the distributions, chemical characteristics, origins and the using statuses of them in Taiwan for the purpose of sustainable usages. Based on the aforementioned understandings, the Yingmingshan National Park made a plan to detailedly study the hot springs in the areas of National Park.

2. Methodology

(A) Literature collections

All of the data and research reports of geology, structures, hydrology and geomorphology related to the hot springs in the Yingmingshan National Park were collected. These data and reports were published by the governments, academic institutions and private research departments.

(B) Survey in sites and sampling

(1) Surface geology:

To collect the data of outcrops, distributions, lithology, rock units and regional structures of hot springs.

(2) In situ water analyses:

To measure the temperature, total dissolved solid, pH value and conductivity of hot spring in situ.

(3) Usages of hot spring:

To survey and record the using statuses of each hot spring.

(4) Sampling:

To collect the samples in field for laboratory analyses.

(C) Laboratory analysis

The samples of hot spring collected from the field were to analyze the anions and cations in the laboratory. Dissolved anions (F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) and cations (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si^{4+}) were measured with an ion chromatographer (IC, Type Dionex DX-100) and an inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer (ICP-AES, Type Jobin-Yvon ULTIMA 2), respectively. Samples from the same spring were measured in duplicate to confirm the precision of the measurements. Analytical uncertainties in the absolute concentrations were less than 3% for all of the anions and less than 5% for all of the cations.

3. Results

1. At least 25 hot springs have been found in the Yangmingshan National Park where are predominantly distributed along the Chingshan fault.
2. The geothermal energy resources in the Yangmingshan National Park are also predominantly distributed in the areas of 18 km long and 3 km wide along the Chingshan fault.
3. The distributions of hydrothermal area are related to the outcrops of hot springs and fumaroles in the Yangmingshan National Park.
4. Three kinds of hot spring can be identified in the Yangmingshan National Park. They are the acidic sulfate hot spring, acidic sulfate-chloride hot spring and neutral bicarbonate hot spring.
5. Based on the monthly data of water qualities, cations and anions, they show large variations in the 9 hot springs of the Yangmingshan National Park. However, we still don't know what their meanings are due to the limited data. It needs more monitoring data to clarify the factors controlling the variations of hot springs in the future.
6. The origins of hot spring in the Yangmingshan National Park are controlled by the heat and gases from the underneath magma chamber, the pyrite and formation water of Wuchihshan sandstones, the meteoric water circulations and the overlying andesites.
7. The usages of hot spring included bathing, geothermal power plant, green house to plant the flowers and vegetables and dried timbers in the past. However, most hot springs are used in the restaurant, bathing, SPA and hotel in the Yangmingshan National Park now.

4. Suggestions

1. The Yangmingshan National Park should hold the good opportunity of exercising hot-spring law to make a plan for sustainable developments and managements of hot springs.
2. The temperature and resources of geothermal energy of the Yangmingshan National Park are the highest in Taiwan. Therefore, under the non-impacted the environment and overcoming the corrosion of acidic solution on pipes and power plant, it can re-consider constructing a electric power plants using geothermal energy to provide the electric powers for the people lived inside or near by the Yangmingshan National Park.
3. The education is the best way for sustainable developments and managements in natural environment and ecology. We, therefore, suggest that the Yangmingshan National Park should set more explaining boards up near the outcrops and workshops of hot springs. The purpose is to educate the publics to understand and protect the hot springs and natural environments.
4. The Yangmingshan National Park should collaborate with Taipei city and county governments, academic institutions and private societies in monitoring the hot springs to clarify the factores controlling the variations in the future..

第一章 緒論

第一節 計畫緣起

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的碰撞造山帶上，因碰撞擠壓使地層發生斷層和摺皺作用，使岩層不斷地被抬升和破碎，且岩石是一種不良的導熱物質，熱量不容易散失，隨著地層不斷的抬升，地熱長期累積的結果，造成台灣地區高的地溫梯度。此外，台灣北部地區和東部外島，也曾經發生過大規模的火山活動，高溫的岩漿餘溫仍存在於火山地底下，使得後火山活動相當的劇烈地進行著。另台灣又位於西太平洋邊緣上的海島，受夏天西南季風、冬天東北季風和夏季颱風的影響，豐沛的雨水降到地面後，就沿著裂隙或破碎的岩層滲入地下，被高的地溫梯度或被岩漿的餘溫加熱，產生豐富了地熱資源，而溫泉即是地熱系統重要的徵兆之一。依據過去的官方、學術界和民間的探勘和研究報告顯示，台灣地區的溫泉最少有 128 處以上，溫泉資源蘊藏豐富，可供民眾享受泡湯之樂。

過去幾年在觀光局的大力提倡之下，台灣的溫泉熱達到極點，使得台灣泡湯人口急劇增加，但同時也可能造成某些知名溫泉點溫泉不足、面臨匱乏的危機。而溫泉是所有自然資源中，用完後又可以再迅速形成補充的天然資源，但這並不意味著人類可以濫用浪費，若因過度抽取使用，會使得地下水來不及補充，原有的溫泉水中離子濃度太高，造成沉澱堵塞溫泉上升通道的裂隙，而不再有溫泉湧出；或是人為亂排污水，污染了溫泉水源無法再使用等。故政府為了能使溫泉能有效的利用且永續經營，特別立的溫泉法，期盼台灣地區的溫泉能有效管理和經營。而在有效管理和經營溫泉之前，就必須全盤了解各地方溫泉的分布、特性和成因，以及利用現況，才能更近一步的落實如何規劃、有效管理和經營。

陽明山國家公園內為台灣地區溫泉蘊藏量最豐富的地區之一，因緊鄰台北都會區，從日據時代就已開始泡湯的歷史。隨著台灣經濟的起飛，對溫泉的需求也急速增加，所以陽明山國家公園管理處在設立之初，於民國七十六年委託工業技術研究院能源與礦業研究所進行「陽明山國家公園水資源調查與利用規劃及管理研究」，對當時園區內之溫泉泉源及利用現況做普查，以瞭解實況。近年來觀光局大力推廣鼓勵泡湯觀光，使得國內泡湯的人口急劇增加，溫泉的使用量也節節上升。因國內溫泉管理的相關法令未臻完備，相關的管理辦法也付之闕乏，故鄰近溫泉地區的當地居民遂自行接管引用溫泉，破壞環境觀瞻，也影響溫泉資源的利用。緊臨台北都會區之陽明

山國家公園內的溫泉，更是業者自行接管引用溫泉的對象。陽明山國家公園管理處有鑑於此，故提出再對園區內的溫泉做詳細的溫泉泉源與利用現況調查的計畫。

第二節 研究目的

溫泉法已於民國九十二年經立法院三讀通過，總統府公佈。但因此法的主管機關牽涉到不同的部會(包括經濟部、農委會和原民會)，擬定子法需較長時間跨部會討論，為了讓主管機關有較充裕的時間準備，此法在實施日期上訂定為依主管機關公佈後實施。經濟部水利署已於今年報行政院核准，並於七月一日正式實施。而在溫泉法中明定，溫泉出露或使用的所在主管機關，有調查該轄區內溫泉分布和利用現況的義務。故本研究計畫的目的，為提供陽明山國家公園管理處未來因應溫泉法的實施，了解園區內溫泉的分布、特性、水質和利用現況的變遷，以做為管理處未來開發利用溫泉的依據。

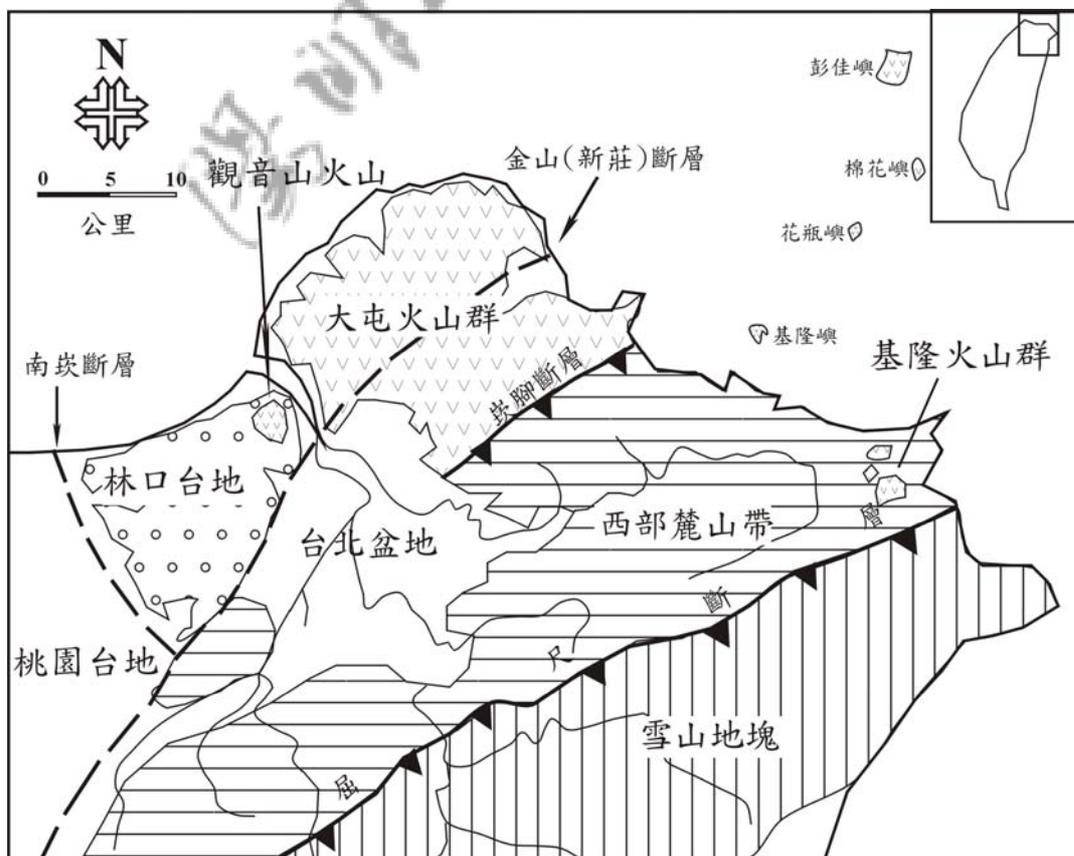
第二章 研究區域概況

第一節 大屯火山群的火山作用

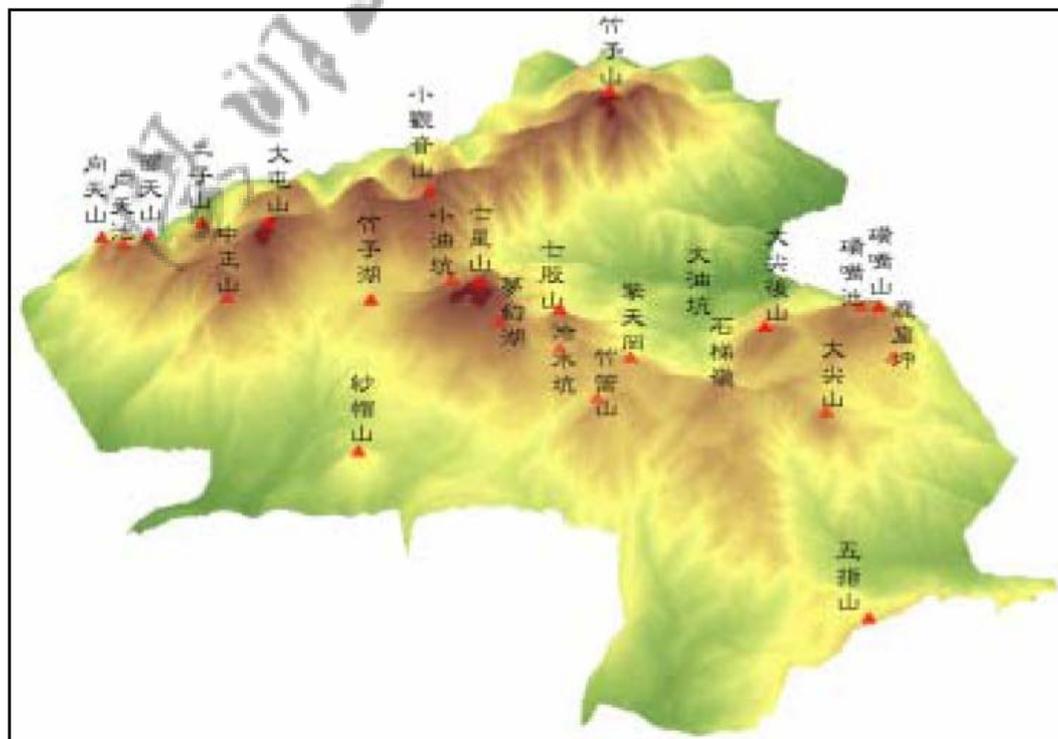
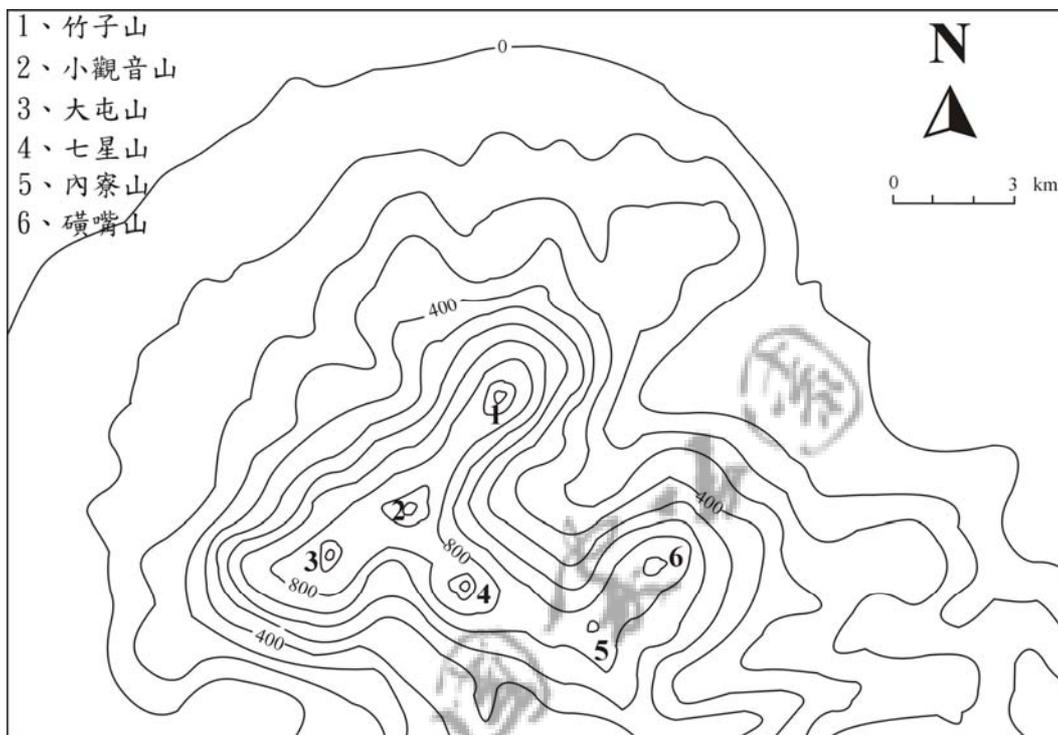
大屯火山群位於台灣北部，是所有台灣北部火山岩區的火山中，分佈最廣、噴發量最大的火山。其包括五個火山亞群：竹子山亞群、大屯山亞群、七星山亞群、磺嘴山亞群和湊子山—丁火朽山亞群，共約 20 座火山，主要分佈於金山斷層與炭腳斷層之間的區域內，地形相當顯著(圖一和圖二)。

從過去定年研究資料顯示(圖三)，大屯火山群的火山活動大約開始於 2.8~2.5 百萬年。因此一時期，北呂宋火山島弧與歐亞大陸的碰撞仍持續著，此時北台灣也仍處於擠壓的環境，即使有岩漿的生成，並不容易上升至地表(圖四為大地應力與岩漿活動的關係)，故大屯火山群雖在二百八十萬年前就有火山活動，但規模不大。台灣東北部的基隆火山群在一百萬年前左右也有岩漿活動，此時所形成的岩漿產物以侵入的淺成岩為主，火山岩甚少，由大地應力與岩漿活動的關係，得知此時台灣北部的地質構造環境仍是屬於擠壓的環境。

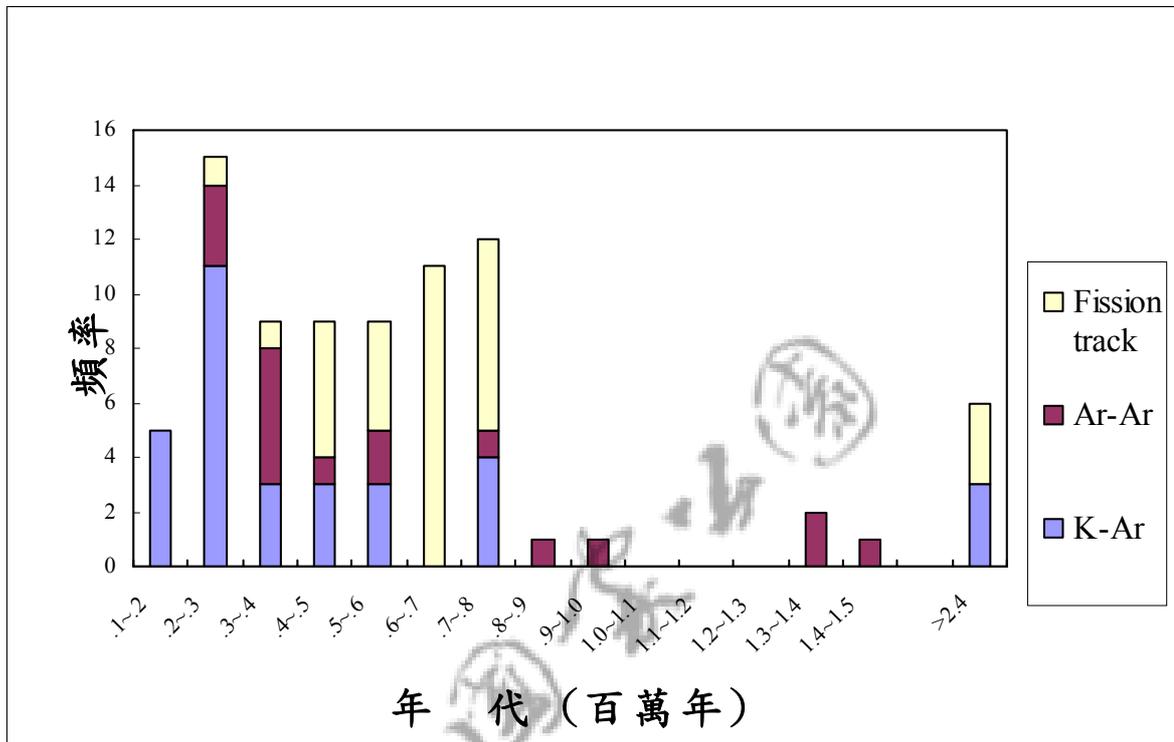
圖一：臺灣北部簡要地質和火山分佈圖。



圖二：大屯火山群主要火山體的分布，形成一開口向東北的凹陷地形。



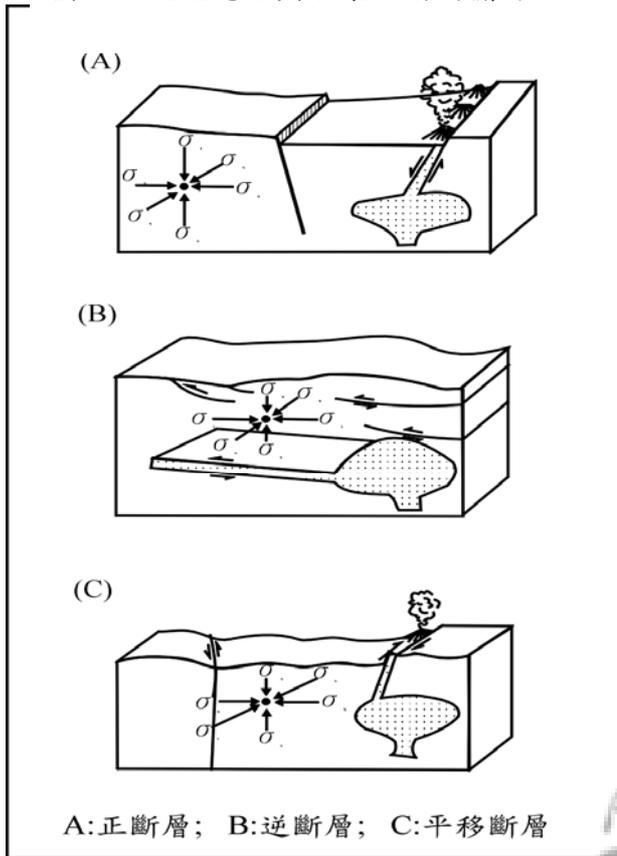
圖三：大屯火山群火山岩年代分佈圖。



到了約八十萬年前，由於琉球弧後盆地(即沖繩海槽)向西南延伸，且此時的弧陸碰撞在臺灣北部也減緩或已停止，彈性體的板塊開始反彈，故臺灣北部的區域地質構造環境由擠壓的環境轉變為張裂的環境，產生許多似正斷層的裂縫，促使滯留的岩漿，容易沿著裂隙上升，發生了臺灣北部最重要的火山活動，此活動一直持續到約二十萬年前左右結束，形成大屯火山群現今的模樣。

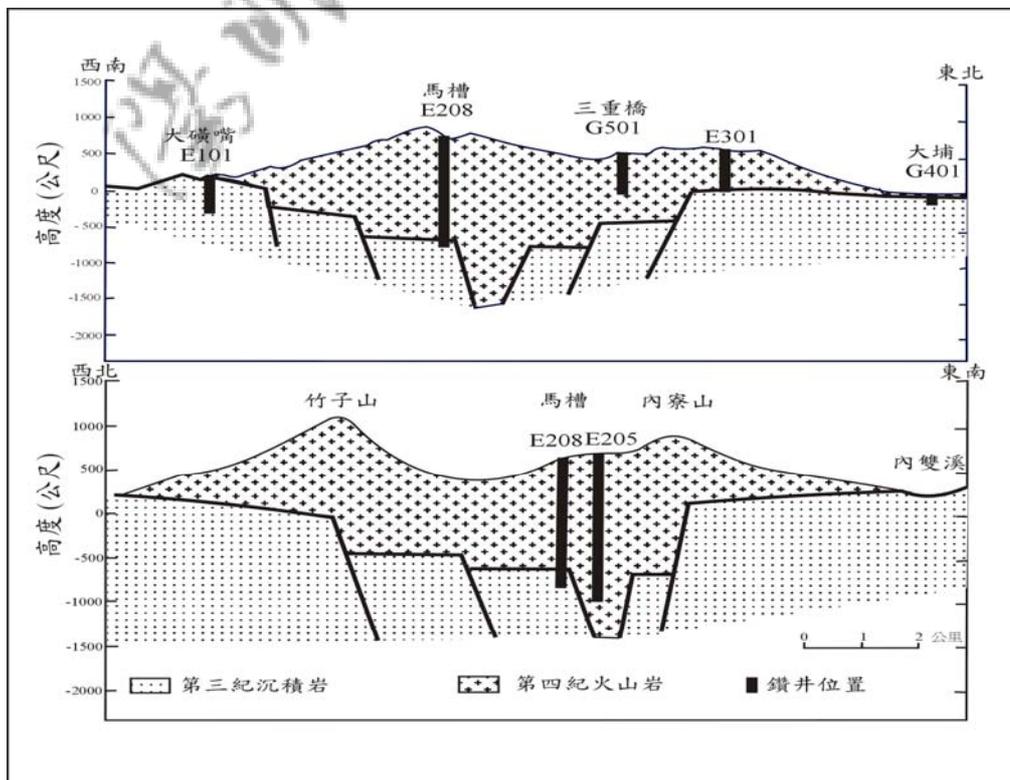
不過，最近於台北盆地西北角關渡附近，鑽了一口約 520 多公尺的深井，鑽透基盤達漸新世五指山層石英砂岩，除了發現大量厚層的火山泥流(lahar)堆積物外(從井下 236~487 公尺)，在 304~309 公尺處發現一層厚約 5 公尺，深黑色單一岩性(monomict)的火山碎屑角礫岩，與上下以多種岩性(polymict)為主的火山泥流堆積物相比較，產狀及岩性完全不同，顯示其可能是直接由火山噴發所形成。其下部的火山泥流堆積物的年代約 20 萬年，故推測堆積火山碎屑角礫岩的火山作用應年輕於 20 萬年，甚至可能年輕於 10 萬年。

圖四：大地應力與岩漿活動的關係。

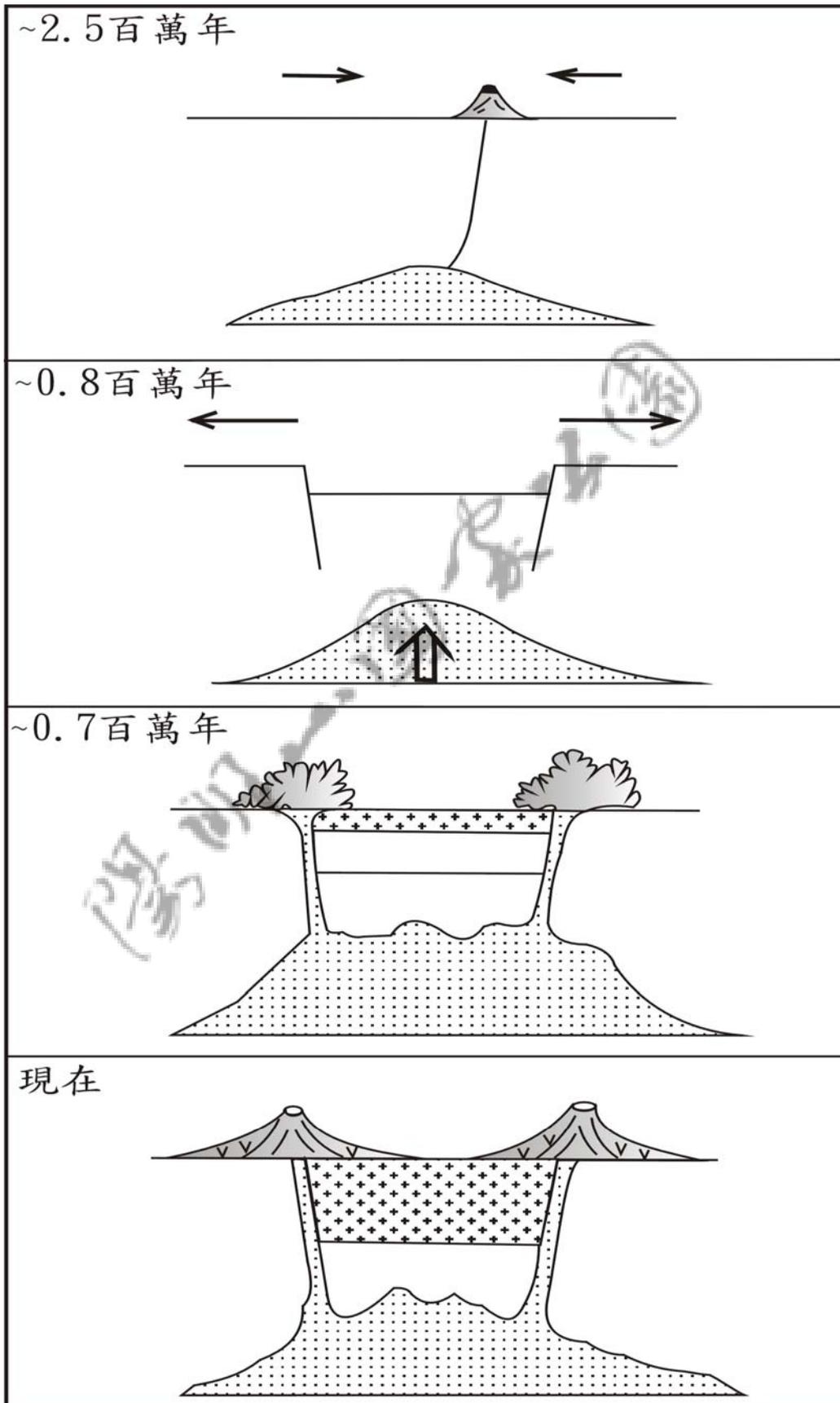


由圖二可看出，大屯火山群的火山分佈基本上形成一向北缺口的圓弧排列：由北往南、由西向東依次為竹子山亞群、大屯山亞群、七星山亞群、磺嘴山亞群。圓弧形西側的分佈主要受控於金山斷層，而圓弧狀東側的分佈，則與噴發時的應力息息相關。由最新的研究顯示，在八十萬年前大屯火山群開始再噴發，岩漿上升的同時，在現今火山口所包圍的區域，即馬槽與擎天崗地區，發生快速的下陷，由鑽井資料推測，下陷的深度可能在 800~1000 公尺左右(圖五)，然後岩漿沿著下陷面的裂隙上升噴發，形成現今大屯火山群火山分佈的形狀。故大屯火山群火山噴發的演變如圖六所示。

圖五：大屯火山群地下地質剖面圖。



圖六：大屯火山群火山活動演化史。



第二節 大屯火山群的溫泉地質

大屯火山群過去的火山噴發產物包括有：厚層熔岩流、灰落堆積物、火山碎屑流和火山泥流等。其中，以熔岩流為最大量，而直接由火山噴發所形成的火山碎屑堆積物則相當的少，在大屯火山群周圍的地層中，如林口台地；沉積年代與火山噴發年代相似的岩層中，很少發現有由火山噴發所形成的火山碎屑堆積物，顯示大屯火山群的噴發活動可能以熔岩流的溢出為主，發生劇烈火山活動以形成火山碎屑岩的噴發較少。

火山活動終止之後，地底下的餘熱，將使得地底下累積之蒸氣壓力增大，並在某些地點，如火山口或斷層附近爆破地面而出，造成爆裂口，如小油坑即是此作用所形成。在爆裂口內常有噴氣孔、硫氣孔和溫泉的存在；或沿著斷層裂隙衝出地表，形成噴氣孔或溫泉，這些現象稱為後火山作用。

噴氣孔的氣體以蒸氣佔絕大部份，此外也包含少量 H_2S 、 S 、 SO_2 及 CO_2 等氣體。大屯火山群內的溫泉水質，為強酸至中性，含多量氯化鈉、碳酸氫鈣、氧化鐵及硫酸鹽等。溫泉的溫度各處不同，自三、四十度以至近於沸點。由本區地熱探勘的資料顯示，在地面以下數百公尺的地方，水溫或熱氣之溫度可達 $100^\circ C \sim 250^\circ C$ 左右。溫泉的水源是由地表水滲入地下裂縫，與地下熱氣相接觸後，變成熱水，再經循環而回歸地面；甚少含有岩漿水。

岩漿中之 H_2S 與 SO_2 等氣體上升到距地表兩、三百公尺左右，易受氧化作用形成硫酸，故在噴氣孔附近的水液和氣體多呈強酸性，能夠腐蝕周圍安山岩，使之脫色或換質成"白土"。此類白土以蛋白石化作用(opalization)為主，即安山岩中各金屬離子除矽之外，皆被酸性水溶液溶蝕而淋失，殘留之膠狀二氧化矽轉變成輕而鬆之蛋白石質岩石，其中部分長結晶成低溫方矽石(cristtobalite)，或局部變成鱗矽石(tridymite)，但甚少含微晶的石英。由於淋失作用在酸液湧出的中心較嚴重，故此換質帶的變化成帶狀分佈。

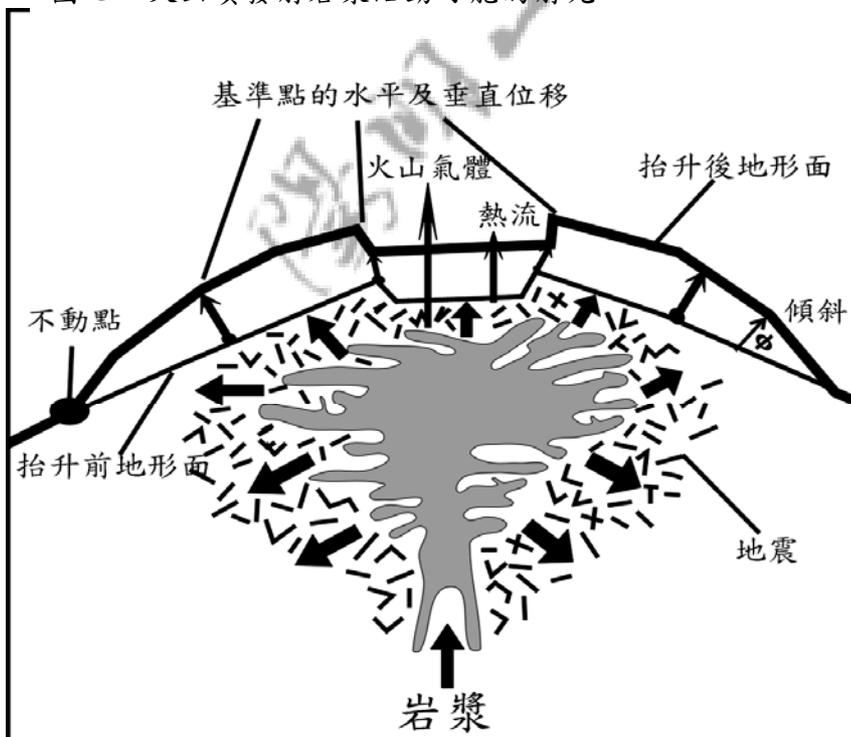
噴氣孔中之硫氣常在噴氣孔孔壁及周圍岩石表面及空隙中，由昇華而結晶成硫黃。硫氣或硫化氫若和安山岩中溶解出的鐵相結合則形成硫化體(黃鐵礦)，常在硫黃堆中成微粒狀結集之結核，或在換質程度不嚴重之安山岩中呈染狀之散佈。密集之微粒黃鐵礦亦可富集達可開採之礦體用做肥料之原料，曾見於七股、死磺子坪、庚子坪等地，今皆採掘殆盡。

第三節 大屯火山群的火山會不會再噴發

大屯火山群的火山會不會再噴發，一直是住在其鄰近—台北盆地的人們所關切的問題，尤其是在 1990 年位於日本九州的雲仙火山(Unzon Volcano)的噴發，造成包括兩位非常有名的法國火山學家、多名日本記者，以及約 30 名一般民眾的死亡；和 1991 位於菲律賓呂宋島中部的皮納吐坡火山(Pinatubo Volcano)的噴發，雖未造成人員傷亡，但其破壞鄰近的建築物，造成大量的財產損失。使同樣位於環太平洋火山圈的台灣，擔心因此兩座火山的噴發，造成聯索反應，引發台灣火山的噴發。

地球上不管是建設性板塊邊緣、破壞性板塊邊緣或是板塊內部環境，要有火山活動須有下列條件：1、適當的地體構造環境；2、地底下地函深處有岩漿的形成；3、地底下地殼處有岩漿庫的存在；4、岩漿能上升至地表噴發。大屯火山群的火山活動，從前面的敘述中，不管其是因菲律賓海板塊隱沒入歐亞大陸板塊之下所形成的火山，或是因北呂宋火山島弧和歐亞大陸板塊邊緣碰撞後的崩解張裂作用所形成的火山，兩者模式都具有適當的地體構造環境和岩漿的形成，其以前也曾經噴發過，且現在的應力場是屬於張力的環境，岩漿易上升至地表，唯一較不確定的是大屯火山群底下是否有岩漿庫的存在。

圖七：火山噴發前岩漿活動可能的前兆。



如何偵測地底下是否有岩漿庫的存在，一直是火山學家所關切的問題。要瞭解此一問題，就要從岩漿的性質與組成著手，圖七是岩漿庫在地底深處可能具有的現象。岩漿在上升過程中，會對周圍地層造成擠壓，發生地震，而有地震波的產生。岩漿上升未噴出地表前，須有足夠的空間容納他們，故地表常會變形膨脹。岩漿是一種高溫的液體，其比周圍岩層的溫度高出許多，且會持續的散熱，故地底下

有岩漿庫的地方，其地表的溫度或熱流(heat flow)會比其他地方來的高，常以噴氣或較高溫的

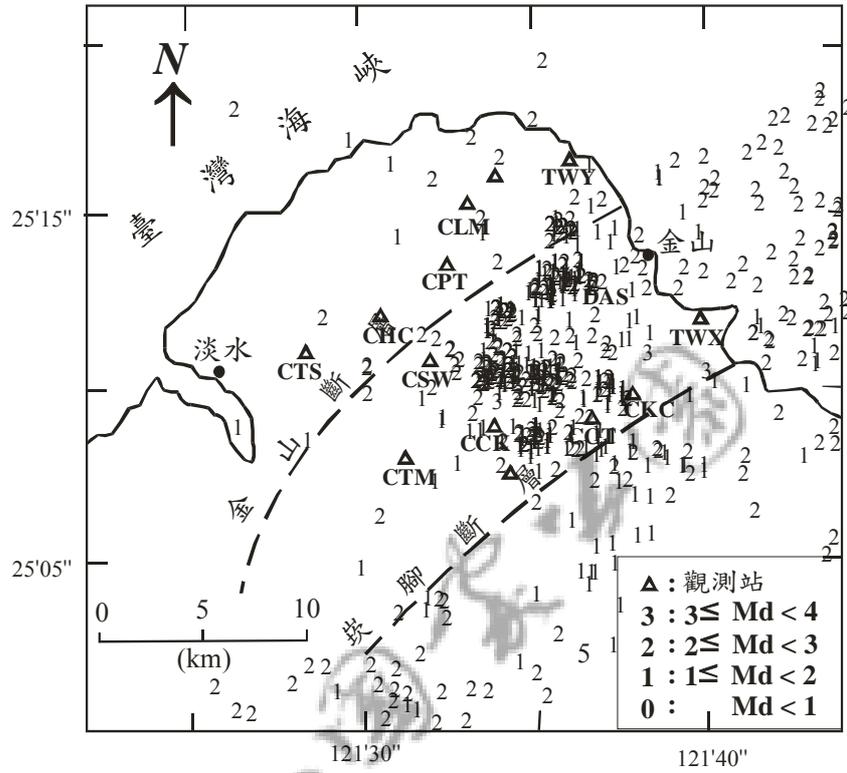
溫泉表現出來。一般的岩漿常含有 H_2O 、 H_2S 、 SO_2 、 SO_3 、 CO_2 及稀有氣體(如 He、Ne)等及火山氣體，在地底深處壓力較高時，這些氣體溶於岩漿中，等到岩漿上升到較淺處，壓力較小時，這些火山氣體會從岩漿中離溶而逸出地表。故從前面所述，當地底下有岩漿庫時就會有地震、地表變形、較高熱流以及火山氣體逸出等現象。

台灣北部地區的微震觀測網觀測結果顯示，大屯火山群附近有相當豐富的微震發生(圖八)，尤其集中在馬槽地區底下，其地震規模常小於 3.0。但 1986 年，在陽明山竹子湖地區，曾經發生過規模超過 5.0 以上的地震，不僅將陽明山原有的花鐘震垮；地震過後不久，馬槽地區發生了大規模的山崩，形成火山泥流，衝垮舊馬槽橋，這也可能與地震有關。最近本系楊燦堯教授對大屯火山群的噴氣口進行 He 同位素的分析研究(圖九)，發現大屯火山群噴氣口中的 He 同位素，有 60%是來自於岩漿的氣體，40%是來自於大氣中的 He 氣體，此結果顯示大屯火山群底下可能還有岩漿庫存在著，至於是一慢慢死亡的岩漿庫，或是一仍活躍的岩漿庫，則須更進一步的研究來驗證。

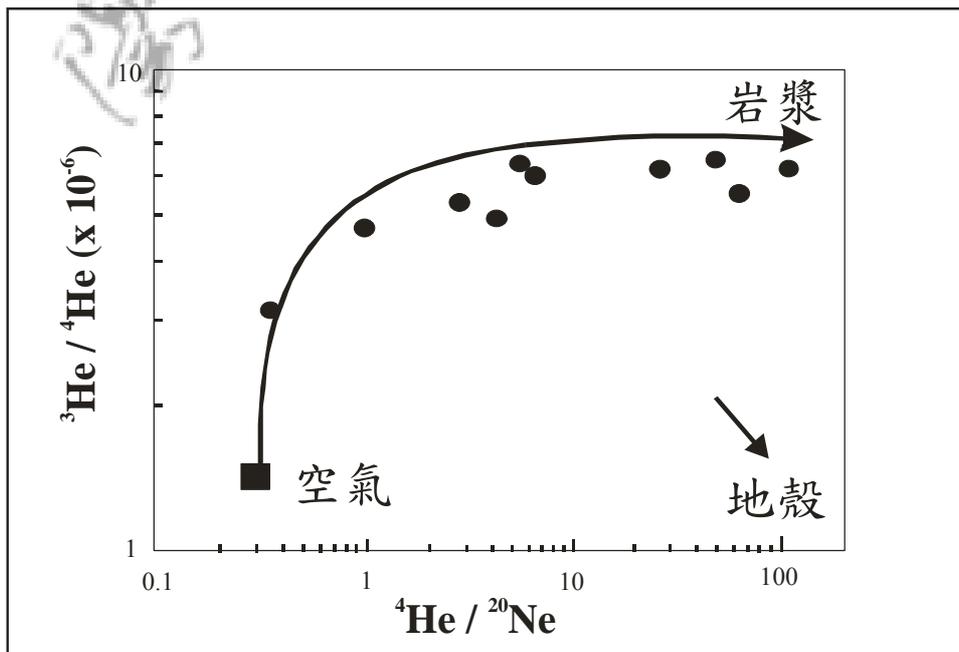
大屯火山群噴氣口的火山氣體，He 氣體僅佔微量，其主要的氣體成分，以小油坑為例：93.10%為水蒸氣，其餘為 CO_2 (3.26%)、 H_2S (3.14%)、 SO_2 (0.02%)等。與平均火山氣體成分相比較(H_2O ：70.75%、 CO_2 ：14.07%、 N_2 ：5.45%、 SO_2 ：6.40%、 SO_3 ：3.14%、 H_2S ：0.33%、 S_2 ：0.10%、Ar：0.18%、Cl：0.05%)， H_2O 和 H_2S 偏高，而 CO_2 、 N_2 、 SO_2 、 SO_3 等偏低，可能是有大量的外界水和氣體進入的影響。

大屯火山群地區的溫泉遍佈，已知有名的溫泉最少有 16 處(圖十)，也有一些無名的溫泉，且溫泉在地表的溫度可達 100°C 左右。在 60 年代，中油為了探勘地熱資源，在大磺嘴、馬槽等地，鑽了不少的深井。其中，在馬槽(編號 E208 井)鑽至地底下約 1700 多公尺處的溫度可達攝氏 293°C 。故雖未有原地熱流量的測量，但由地底下溫度的測量及遍佈高溫的溫泉，顯示大屯火山群的熱流量應該相當高才對。綜合前述的微震分佈、He 同位素、噴氣口的火山氣體、及地下溫度的測量及遍佈高溫的溫泉，大屯火山群地底下應還有岩漿庫的存在。至於大屯火山群是否還會在噴發，則有待不斷的監測與研究才能判斷。

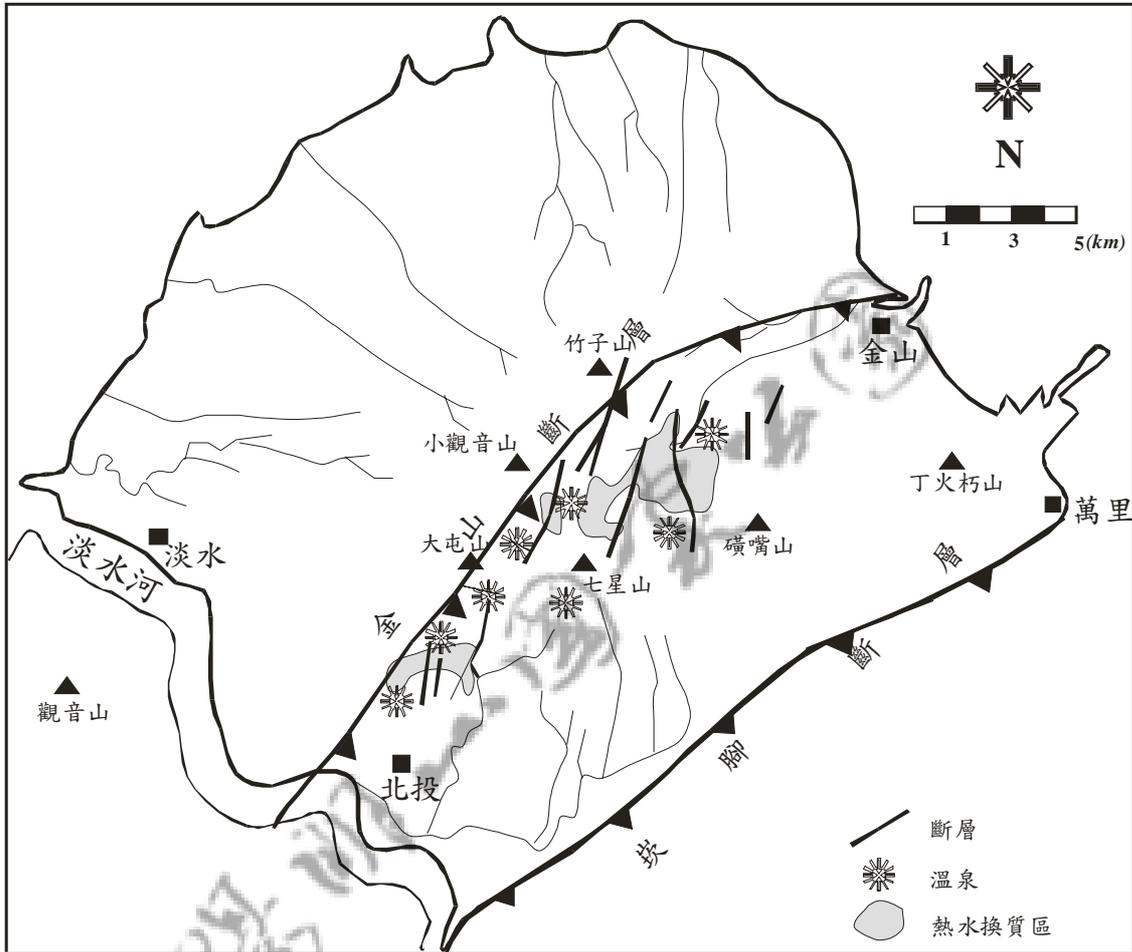
圖八：大屯火山群地區微震分佈圖。



圖九：大屯火山群氦同位素分析結果；顯示噴氣口中的氦氣含量是由岩漿和空氣混合而來。



圖十：大屯火山群斷層、溫泉和熱水換質區的分佈圖。



第三章 研究方法

此研究計畫究計畫的工作項目包括：

- 1、調查陽明山國家公園內溫泉地熱的分布。
- 2、調查陽明山國家公園內熱水換質區域的分布。
- 3、調查陽明山國家公園內各溫泉系統的水質和水化學特徵。
- 4、分析陽明山國家公園內各溫泉系統的水質和水化學隨季節(主要為乾季和雨季)的變化，以作為溫泉泉質的基準值。
- 5、分析探討大屯火山群溫泉地熱的成因。
- 6、蒐集過去陽明山國家公園內溫泉地熱系統的使用方式。
- 7、蒐查目前陽明山國家公園內各溫泉系統的使用現況。
- 8、分析比較過去和現況的使用情形，以了解其變遷情形。

依本計畫的工作項目，研究方法分三個階段來進行，包括(1) 資料蒐集；(2) 現場調查及採樣；(3) 室內實驗室樣本分析，最後整理資料及完成報告書的撰寫。計畫執行步驟如圖。

一、文獻蒐集分析：

蒐集並分析陽明山國家公園內各溫泉系統過去相關地質、構造、水文、地形或研究報告等文獻資料。各項資料主要是來自於政府單位、學術機關及民間單位的出版品。

二、現場調查和樣本採集：

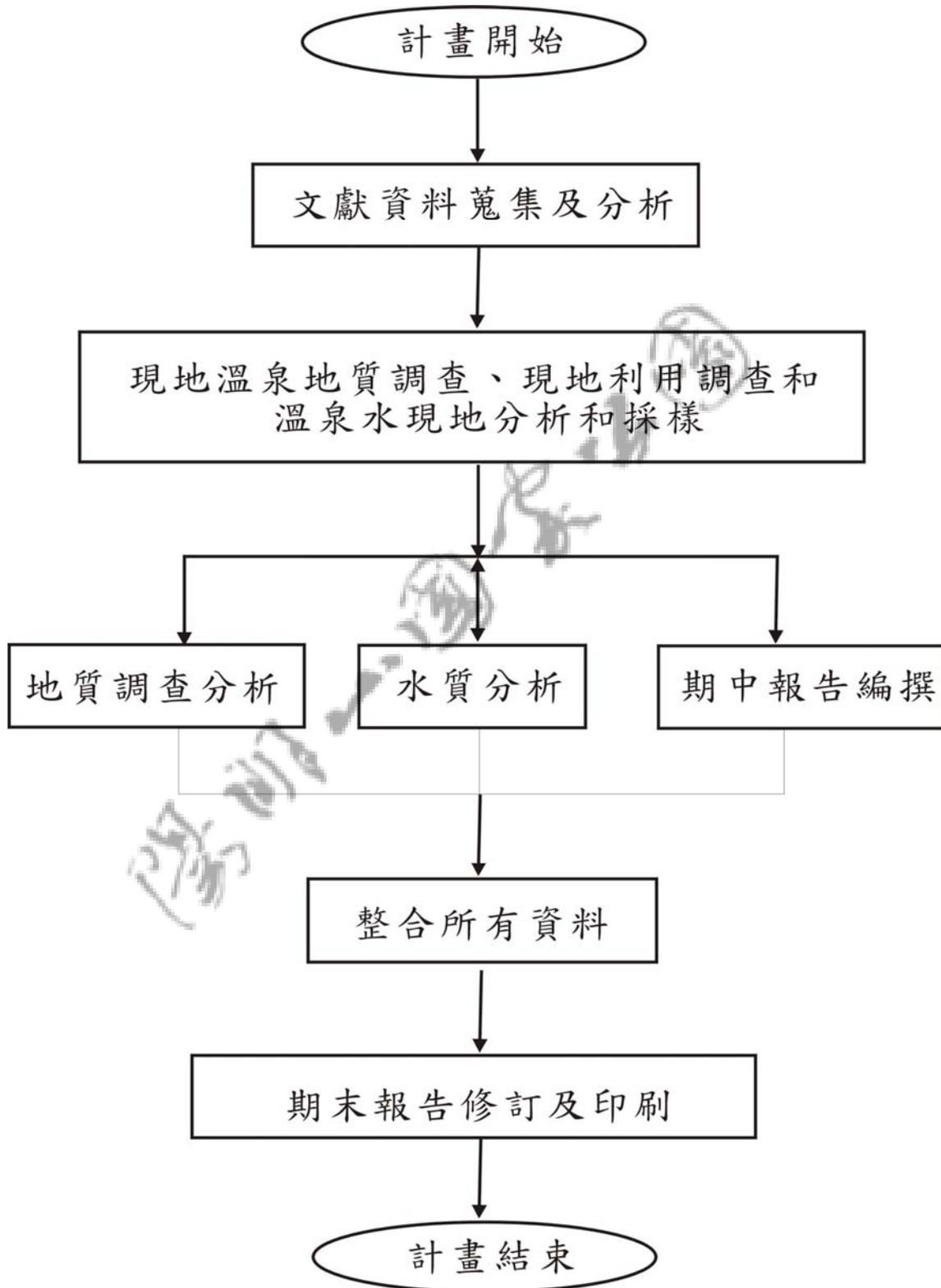
- 1、地表地質調查：進行現場溫泉地質調查工作，可以了解溫泉露頭的所在位置、和岩性及岩層的關係、區域地質構造和溫泉徵兆的分布範圍等等。
- 2、溫泉現地水質分析：在野外現場即刻對溫泉水體中的溫度、總固容量(TDS)、酸鹼值(pH；現地量測)、電導度(現地量測)等進行量測。

- 3、溫泉使用現況調查：進行現場溫泉使用現況進行記錄和調查。
- 4、溫泉現地採樣：利用在實驗室已洗滌乾淨的採樣瓶，帶到野外採取溫泉樣本，溫泉樣本要在現地立即過濾裝瓶。每次每個溫泉點採兩瓶樣本，一瓶不加任何添加劑，另外一瓶加入 1% 的硝酸，已確保溫泉樣本不會發生氧化作用沉澱任何物質。

三、室內實驗室樣本分析：

將現地採取的溫泉樣本攜回實驗室，分析溫泉樣本中的陰、陽離子濃度。水樣採集的密度，以一個月為一採樣基準進行分析。採獲的水樣攜回實驗室後，對其水體中的鈉離子(Na^+)、鉀離子(K^+)、鎂離子(Mg^{++})、鈣離子(Ca^{++})、矽離子(Si^{+4})、鋁離子(Al^{+3})、鐵離子(Fe^{++})、鈦離子(Ti^{+4})、錳離子(Mn^{++})、和銅離子(Cu^{++})等陽離子，以及氟離子(F^-)、氯(Cl^-)、溴離子(Br^-)、硝酸離子(NO_3^-)、硫酸離子(SO_4^{-2})、磷酸根離子(PO_4^{-3})等陰離子，進行分析實驗。陽離子用感應耦合電漿—原子發射光譜儀(ICP-AES)分析，而陰離子則用離子層析儀(IC)分析。

圖十一:計畫執行步驟流程圖。



學明一國書局

第四章 陽明山溫泉地熱的分布

第一節 溫泉分布

一、溫泉的定義

依據學理，「溫泉」是指從地底下自然湧出的泉水，其水溫高於當地年平均攝氏 5°C 以上（或華氏 10°F ），稱為溫泉。地球上每個地區的年平均溫不一，例如赤道地區的年平均溫可能超過 25°C 、高緯度地區的年平均溫可能低於 10°C ，而台灣地區的年平均溫約為 20°C ，故地球上各個地區溫泉的溫度，依照上述定義是不同的。因泉水從地底深處往上移動到地表時，會與當地的地表溫度達到平衡，所以湧出地表時，泉水的溫度與地表的溫度大致相同。若其湧出地表的溫度高於當地的年平均溫，表示其地底下有多餘的地熱，供應給地下泉水，使泉水的溫度高於地表的溫度，所以稱之為溫泉。

一般而言，人們對高出地表 5°C 的泉水（以台灣為例約 25°C ），基本上感覺不出它的熱度，所以可能很難接受其為溫泉。故筆者認為，較被人接受的溫泉水溫，應稍高於人體體溫，觸摸後有熱的感覺；Todd (1980)和 LaMoreaux、Tanner (2001)等人，定義熱泉水(hot springs) 為高於攝氏 38°C （或華氏 100°F ）以上的泉水，都較合乎人們對溫泉的認知與期待。

近年台灣準備對溫泉的利用與管理，訂定相關法律。其所採用的溫泉定義，雖還未有定論，但大部分的學者多傾向於將溫泉溫度訂在 35°C 左右。而為了彌補一些水溫未達 35°C ，但含相當高離子濃度的溫泉，則特別利用水質來補充訂定。

二、溫泉的分類

溫泉的分類常因目的不同，或採用的標準不同，而有不同的分類。最常用的分類標準包括：依化學組成成分、依地質性質、依物理性質和依溫度為分類標準。

1. 依化學組成成分

溫泉主要為天水滲入地底下，在較高溫和高壓的環境下，與岩石礦物發生化學反應，溶解固體和氣體物質，或與原來的液體相混合，造成各種不同成分的溫泉。其中，溫泉水中最常見的陰離子為：氯離子 (Cl^-)、碳酸氫根離子 (HCO_3^-) 和硫酸根離子 (SO_4^{2-})，故依據其相對含量，可把溫泉大致分為三大類——以氯離子為主的氯化物泉、以碳酸氫根離子為主的碳

酸氫鹽泉，和以硫酸根離子為主的硫酸鹽泉。

但溫泉中所含的陰離子常不止一種，假如有兩種主要陰離子等量存在，則成混合型的溫泉，如硫酸根離子和氯離子同時約等量存在，則稱為硫酸鹽氯化物泉；氯離子和碳酸氫根離子同時約等量存在，則稱為氯化物碳酸氫鹽泉。

溫泉中同時也含有相當份量的陽離子，如鈉 (Na^+)、鉀 (K^+)、鈣 (Ca^{2+})、鎂 (Mg^{2+})、鐵 (Fe^{2+})、鋁 (Al^{3+}) 和矽 (Si^{4+}) 等，故依據溫泉水中含陽離子種類和多寡，又可把溫泉區分為重曹泉、重碳酸土類泉、食鹽泉、氯化土鹽類泉、芒硝泉、石膏泉、正苦味泉等類型。

茲將各類型溫泉的成分特徵描述如下：

- a) 氯化物泉：氯化物泉的水源可能來自海水、地層水、火山氣體或火山岩。除火山氣體會造成酸性泉外，其餘大都是中性泉。依據其酸鹼性，可把氯化物泉分為三類。
 - 碳酸氫鈉氯化物泉 ($\text{Na}^+ \cdot \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$)；pH 值 8 - 9。
 - 酸性硫酸鹽氯化物泉 ($\text{H}^+ > \text{Na}^+ \cdot \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$)；pH 值 1 - 4。
 - 中性硫酸鹽氯化物泉 ($\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$)；pH 值 8 - 9。
- b) 碳酸鹽泉：在富含二氧化碳的地層，如變質岩區和火山岩區，二氧化碳可溶於水中形成碳酸，再與圍岩發生化學反應，生成碳酸鹽泉。一般多為中性泉及弱鹼性泉。碳酸鹽泉依所含陽離子的種類及多寡，可再細分為四種。
 - 碳酸氫鈉泉 ($\text{H}^+ > \text{Na}^+ \cdot \text{HCO}_3^-$)；pH 值 7 - 10， Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 離子含量較少。
 - 碳酸氫鈣鈉泉 ($\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} \cdot \text{HCO}_3^-$)；pH 值 7 - 8。
 - 硫酸鹽碳酸氫鈉泉 ($\text{Na}^+ \cdot \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$)；pH 值 7 - 8。
 - 氯化物碳酸氫鈉泉 ($\text{Na}^+ \cdot \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$)；pH 值 6 - 7。
- c) 硫酸鹽泉：硫酸鹽泉的水源可能來自火山氣體、硫化物氧化、蒸發鹽類、海水與地層水。前兩者主要形成酸性泉，其他均為中性泉。硫酸鹽泉依據泉水的酸鹼值又可細分為：
 - 酸性硫酸鹽泉 ($\text{H}^+ > \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+} \cdot \text{SO}_4^{2-}$)；pH 值約 1 - 3。
 - 中性硫酸鹽泉 ($\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ \cdot \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$)；pH 值 6 - 7。
- d) 重曹泉：以重碳酸鈉為主成分。
- e) 重碳酸土類泉：以重碳酸鈣 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ 或重碳酸鎂 $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ 之離子為主成分。
- f) 食鹽泉：以氯化鈉 (NaCl) 離子為主成分。

- g) 氯化土鹽類：以氯化鈣 (CaCl_2) 及氯化鎂 (MgCl_2) 離子成分為主。
- h) 芒硝泉：以硫酸鈉 (Na_2SO_4) 離子為主成分。
- i) 石膏泉：以硫酸鈣 (CaSO_4) 離子為主成分。
- j) 正苦味泉：以硫酸鎂 (MgSO_4) 離子為主成分。

2. 依地質性質

一般依地質性質的特性，可以把溫泉區分為火山岩區溫泉、變質岩區溫泉和沉積岩區溫泉。

台灣的火山岩區溫泉，主要分布在台灣西部火山岩區、北部的大屯火山群、東部海岸山脈、綠島、蘭嶼及龜山島等，其中以大屯火山群的溫泉分布最廣、規模也最大。

大屯火山群的溫泉可分為三類：第一類為酸性硫酸鹽氯化物泉，主要由深部火山氣體中的硫化氫 (H_2S)，溶解於含氯化物的地層水中氧化成硫酸，形成酸性硫酸鹽氯化物的熱水，然後在上升過程中摻雜少量的地表水而成。第二類為低濃度的酸性硫酸鹽泉，主要是火山氣體和水蒸氣混合，在上升至地表時冷凝而成；因蒸氣中氯離子含量低，所以此種溫泉水中的氯離子含量甚低，通常小於 50 ppm，而硫酸根離子的含量則可達數千 ppm。第三種為低溫低濃度的中性碳酸氫鈣泉，可能是大屯火山群地底下原有的地下水，被火山熱量間接加熱所形成。

台灣變質岩區的溫泉主要分布在雪山山脈和中央山脈東西兩側。溫泉種類以碳酸氫鈉泉為主，pH 值在 6-10 間；溫泉水中之鈉離子 (Na^+) 與碳酸氫根離子，可能是由二氧化碳 (CO_2) 與岩石中的鈉長石作用而成。由於變質岩中普遍存在二氧化碳與鈉長石，故容易形成碳酸氫鈉泉的溫泉。台灣變質岩區溫泉的另一特色是溫泉水中的氯離子含量甚低，多數不會超過 30 ppm，與火山岩區及沉積岩區的溫泉氯離子含量差別甚大，主要是變質岩區中的氯離子來源較少、供應不足所致。

台灣沉積岩區的溫泉主要分布在西部麓山帶、恆春半島、宜蘭平原和海岸山脈等。溫泉種類以碳酸氫鹽泉、碳酸氫鈉泉和氯化物泉等三種為主。前兩種的分布較廣、規模較大，主要由沉積岩地底下深處變質岩內的熱水上升循環，進入沉積岩層內與氯化物的地層水混合而成。而後者以嘉義中崙和台南的關子嶺溫泉最具代表性。

3. 依物理性質

溫泉可根據流體的物理狀態、外觀和活動等特徵，將溫泉分為普通溫泉、間歇溫泉、沸泉、噴泉、噴氣孔或硫氣孔和熱泥泉等六類。

- a) 普通溫泉：指的是水溫在沸點以下的溫泉，這是地球表面分布最多的溫泉。一般而言，他們一年四季源源不斷地湧出，很少間斷。
- b) 間歇溫泉：指的是水溫在沸點以下的溫泉，溫泉湧出是間歇性的，而非持續不斷地流出，這種溫泉比較少見。
- c) 沸泉：若溫泉水的溫度達到沸點左右，溫泉像滾燙的熱水，就變成了沸泉。一般沸泉水的溫度介於 93°C — 100°C 之間，視沸泉所在的海拔而定。
- d) 噴泉：若熱水溫度遠超過沸點，在適當的地質條件下，就可能造成噴泉。基本上，噴泉也是一種間歇泉，其噴出的間歇時間有固定和不固定兩種，前者如美國黃石公園的老實噴泉，約隔 32—98 分鐘（平均 65 分鐘）噴發一次，每次持續 2—5 分鐘，噴出高度約為 90—180 英尺。
- e) 噴氣孔或硫氣孔：地下高溫熱水在地下水面附近汽化成蒸氣後，蒸氣繼續往上升至地面噴出而形成噴氣孔，若噴出的氣體以硫化氫 (H_2S) 為主，則形成硫氣孔。一般而言，其地下熱水的溫度至少在 100°C 以上。
- f) 熱泥泉：熱泥泉不同於一般溫泉，在於其流出地表時，混合有大量的泥漿，形成混濁且濃度不一的熱泥漿水；泥漿的主要成分為黏土礦物，是熱水和周圍岩石長期接觸與腐蝕所形成的。

4. 依溫度

溫泉依流出地表時的溫度，可分為低溫溫泉、中溫溫泉、高溫溫泉和沸騰溫泉等四種。

- a) 低溫溫泉：指溫泉溫度高於年平均溫 5°C 至 49°C 之間的溫泉。以台灣為例，大約是在 25°C 至 49°C 之間，主要分布在沉積岩區。
- b) 中溫溫泉：此種溫泉溫度大約在 50°C 至 74°C 間。台灣地區的中溫溫泉主要分布在變質岩區。
- c) 高溫溫泉：此種溫泉溫度大約在 75°C 至 96°C 之間，台灣地區的高溫溫泉以火山岩區和變質岩區較多，沉積岩區只有台南關子嶺溫泉。

- d) 沸騰溫泉：指溫泉溫度高於 97°C 以上，泉水有沸騰現象，且常伴有蒸氣出現。台灣地區此種溫泉主要分布在火山岩區和變質岩區。

三、陽明山國家公園內溫泉的分布

陽明山國家公園內的溫泉，主要是沿著金山斷層的兩側分布，從過去的資料顯示，其分布個數有相當的不同。從早期陳肇夏(1970)將噴氣口包括在內，認為大屯火山群溫泉可分成 13 處：自北而南依次為新北投、大磺嘴、陽明山、大庄(頂北投)、竹子湖、小油坑、馬槽、大油坑、三重橋、死磺子坪、(火庚)子坪、大埔和金山等。之後，工研院能礦所調查陽明山國家公園內溫泉分布，總共劃分出 18 處，自北而南依次為大磺嘴、雙重橋、頂北投、湖山、鼎筆橋、小隱潭、陽明山、中山樓、後山、冷水坑、竹子湖、小油坑、馬槽、七股、大油坑、八煙、四磺坪和(火庚)子坪等。宋聖榮和劉佳玫(2001)在其所著的台灣溫泉，陽明山國家公園內溫泉除了上述 18 處溫泉外，還增加了龍鳳谷溫泉和行義路溫泉。中央地質調查所陳伯淳先生(2004)在中央地調所內部報告中，對於陽明山國家公園內的溫泉又增加了 5 處，分別為陽明路、胡宗南墓、磺溪、下七股和翠林橋等。

本研究參考前人的調查結果，以及本計畫最近的調查研究顯示，陽明山國家公園內的溫泉總共有 25 個地方有溫泉出露，且每一地方可能包含數個溫泉湧出處，其分布如表一和圖十二。以下將從南到北對於每一個溫泉出露點的位置和地質特徵做詳細描述。

表一：陽明山國家公園內溫泉之座標、高程和特徵。

	名稱	T67 橫座標	縱座標	高程	附註
1	硫磺谷溫泉	301965	2781992	138	大屯山南麓之南磺溪谷地，以蒸氣型為主，自然出水少，多以人工引水利用蒸氣加熱。
2	行義路溫泉	302552	2781685	115	位於敦敘高中南磺溪谷地。
3	龍鳳谷溫泉	302390	2782105	143	南磺溪谷地以蒸氣型為主，多是地表水滲入蒸氣加熱。
4	雙重溪溫泉	302572	2782050	168	南磺溪谷地，以蒸氣型為主，自然出水少，多以人工引水利用蒸氣加熱。
5	頂北投溫泉	302730	2782285	195	南磺溪谷地露頭眾多，沿溪溝分布。
6	鼎筆橋溫泉	303174	2783352	310	陽明溪中上游谷地沿著岩壁滲出。
7	湖山溫泉	303180	2782700	290	北投湖山國小旁、南磺溪上游支流山谷內，目前已無自然湧出露頭，以鑽井取用居多。
8	小隱潭溫泉	303490	2783395	362	陽明溪中游谷地沿著岩壁滲出

陽明山溫泉、地熱資源與利用調查

9	陽明路溫泉	304530	2782492	388	位於紗帽山東邊溪溝中，露頭已被加蓋使用。
10	中山樓溫泉	304620	2783750	433	陽明山窪地北面邊緣，以蒸氣型為主，露頭分三處集中。
11	陽明山溫泉	303785	2783880	490	陽明溪中上游谷地，露頭分三處集中，順溪谷延長約三百公尺。
12	竹子湖溫泉	304136	2784295	621	七星山西南麓之陽明溪上游谷地，以蒸氣型為主，僅大雨過後才有足供利用的水量湧出。
13	胡宗南墓溫泉	303915	2784370	607	七星山西南麓之陽明溪上游谷地，以蒸氣型為主混有地表水。
14	冷水坑溫泉	305882	2784695	745	冷水坑窪地，沿著岩壁滲出，具有兩種不同泉質的露頭分布。
15	小油坑溫泉	304382	2785500	800	七星山西測坡腰，以蒸氣型為主，僅大雨過後才有足供利用的水量湧出。
16	後山溫泉	304924	2786458	556	位於北磺溪上游鹿角坑溪之溪谷中，併存有冷、熱硫磺泉質露頭。
17	馬槽溫泉	305850	2785680	520	磺溪馬槽橋上方谷地，以蒸氣型為主混有地表水，部份熱水沿著山壁滲出。
18	七股溫泉	306125	2785912	500	磺溪馬槽橋下方谷地，自地下湧流至地面。
19	翠林橋溫泉	306390	2786380	476	位於陽金公路馬槽橋下游馬槽溪翠林橋旁，併存有冷、熱硫磺泉質露頭。
20	大油坑溫泉	307621	2785180	448	清水溪上游谷地，以蒸氣型為主混有地表水，部份熱水沿著山壁滲出。
21	磺溪溫泉	307346	2785398	423	清水溪中上游谷地，以蒸氣型為主混有地表水，併存有冷、熱硫磺泉質露頭。
22	下七股溫泉	307690	2786284	362	位於下七股山東測的山溝中，併存有冷、熱硫磺泉質露頭。
23	八煙溫泉	308502	2787543	241	位於陽金公路天籟溫泉館與磺溪頭之間，溫泉泉源出露於崩塌的谷地中。
24	四磺坪溫泉	309995	2787765	366	位於大台北華城東南方 500 公尺，距陽金公路約 2.1 公里。
25	(火庚)子坪溫泉	310985	2786848	462	位在磺嘴山之東北側山腳下，清水溪上游地區。

1、硫磺谷(大磺嘴)溫泉

- a) 位置：位於台北市惇敘高中西南方 300 公尺石壇路附近。
- b) 地質：硫磺谷溫泉區是一爆裂口地形，呈東西向延伸的谷地，長約 700 公尺。其東端隔一狹窄鞍部與東側之雙重溪溫泉相鄰。溫泉附近陡峭崖壁露出的岩層為中新世五指山層，其岩層為粗粒石英砂岩構成。此一陡峭崖壁為斷層崖，也是本溫泉的重

要地質斷層構造線。谷地內熱液活動範圍廣達 1200 平方公尺，區內火山碎屑岩受熱液腐蝕，大部分已換質為白色粘土，局部形成矽化火山岩體，呈火山渣狀。在噴氣口附近常可見到昇華硫磺結晶析出。

2、行義路溫泉

- a) 位置：台北市北投區行義路左側溫泉，位於磺溪東側山坡。
- b) 地質：徵兆區出露的圍岩有安山岩、凝灰石角礫岩及紫蘇輝石，熱液活動範圍岩石受熱液腐蝕，大部分已換質為白色黏土。

3、龍鳳谷溫泉

- a) 位置：於惇敘高中東方河谷內，屬頂北投溫泉系統之一，為頂北投溫泉分布在雙重溪河谷內最南邊的溫泉。
- b) 地質：其地質特性相似於頂北投溫泉，因頂北投溫泉為中性碳酸鹽泉，而本溫泉為酸性硫酸鹽泉，故分開加以描述。

4、雙重溪溫泉

- a) 位置：位於惇敘高中東方的谷地。
- b) 地質：徵兆區出露的東南方有五指山砂岩出露，北方即西方的岩壁為未換質的紫蘇輝石角閃石安山岩熔岩流。在河谷中出露的是火山碎屑岩，其已受到熱水換質的影響，成黏土化或矽化，而在噴氣口附近則有昇華硫磺結晶出露。谷地中有東北走向的小斷層橫切本區，溫泉或噴氣口的出露，大多散布在斷層附近或破碎岩石裂隙上。

5、頂北投溫泉（包括竹子腳池、自強池、媽祖池、鳳凰谷）

- a) 位置：行政區隸屬台北市北投區泉源里及湖山里，溫泉徵兆沿紗帽山下雙重溪溪谷分布達 1.5 公里，沿著兩岸湧出。
- b) 地質：徵兆區出露的圍岩有凝灰角礫岩及紫蘇輝石—普通輝石熔岩流兩種，而以前者分布範圍較廣。本溫泉區溪流呈東北—西南向，地形上顯示為幼年期之 V 型谷。推測其熱液主要是地下水在地下淺處間接加熱上升。本溫泉區徵兆附近未見圍岩受熱液換

質等跡象。

6、鼎筆橋溫泉

- a) 位置：位於紗帽山西側，陽投公路鼎筆橋東北方約 500 公尺、南磺溪上游支流河谷旁。
- b) 地質：溫泉徵兆不明顯，只局部出露。岩層有凝灰角礫岩及紫蘇輝石—普通輝石熔岩流兩種出露，後者分布較廣。其熔岩流已受到低度蝕變作用影響，有白化現象。

7、湖山溫泉

- a) 位置：位於北投湖山國小旁、南磺溪上游支流山谷內。
- b) 地質：溫泉徵兆不明顯，主要為凝灰角礫岩的出露。凝灰角礫岩受到低度蝕變作用的影響，已有白化現象。

8、小隱潭溫泉

- a) 位置：位於陽明山公園內小隱潭下方谷地。
- b) 地質：徵兆區出露的圍岩有凝灰角礫岩及紫蘇輝石—普通輝石熔岩流兩種，而以前者分布範圍較廣。凝灰角礫岩受到低度蝕變作用影響，已有白化現象。

9、陽明路溫泉

- a) 位置：位於紗帽山東邊溪溝中，露頭已被加蓋使用。
- b) 地質：露頭出露的岩層為安山岩熔岩流。

10、中山樓溫泉

- a) 位置：位於中山樓一帶。
- b) 地質：本區露出的岩石以凝灰角礫岩為主，但在河谷泉源附近有塊狀節理發達之暗灰色含橄欖石；紫蘇輝石—普通輝石—安山岩出露，岩質大多已受熱液換質作用，呈灰黑色。在河床泉源處亦可見分處微弱噴氣孔，孔口附近有少量硫磺析出。

11、陽明山溫泉

- a) 位置：位於台北市陽明山大屯火山區氣候觀測所西南方 200 公尺溪谷。
- b) 地質：本溫泉區位於南磺溪之上游谷地、頂北投溫泉區之上游地帶，兩溫泉泉源相距約 400 公尺，露出的圍岩以凝灰石角礫岩為主。本溫泉區兩個泉源均受同一斷層構造控制，唯在竹子湖溫泉徵兆處，有一典型爆裂口，造成高達 15~20 公尺崖壁，爆裂口朝向西南，谷地岩質均已受熱液換質作用，呈灰白色或灰色。噴氣孔處亦可見昇華之硫磺結晶成晶簇狀析出。在陽明山溫泉徵兆區，亦有三個泉源，順溪谷底分布，泉源處但見岩質受熱液腐蝕而呈乳白之黏土。

12、竹子湖溫泉

- a) 位置：位於台北市七星山南波，中興路與陽金公路交會點之東北方。
- b) 地質：本溫泉區位於南磺溪之上游谷地，露出的圍岩以凝灰石角礫岩為主。溫泉主要是由噴氣口湧出，圍岩已受熱液換質作用，呈灰白色或灰色。噴氣孔處亦可見昇華之硫磺結晶成晶簇狀析出。

13、胡宗南墓溫泉

- a) 位置：位於台北市胡宗南墓旁的山溝中。
- b) 地質：本溫泉區位於南磺溪之上游谷地，露出的圍岩以凝灰石角礫岩為主。溫泉主要是由岩石縫隙流出，圍岩已受熱液換質作用，呈灰白色或灰色。

14、冷水坑溫泉區

- a) 位置：位七星山夢幻湖之東 300 公尺，溫泉露頭有兩處，分別為阿公婆店後方及士林觀光菜園。
- b) 地質：冷水坑溫泉位在七星山與麻山間東側谷地，主要出露的岩石為凝灰石角礫岩及紫蘇輝石一角閃石安山岩構成。區內有兩個主要重力斷層貫穿，形成一明顯斷崖。兩處泉源均湧自斷崖下。泉源附近岩質大多已受熱液換質作用，局部亦成黏土化。在七星山山腳下（阿公店）之泉源處可見新鮮堅硬的七星山岩流流向西北，破碎縫湧流著熱水。冷水坑停車場旁有一白色渾濁的水池，當地稱『牛奶湖』，其是溫泉水流入低窪地所成的小湖，因溫度降低、細小硫磺結晶沉澱所形成的自然景觀。

15、小油坑溫泉

- a) 位置：位於七星山之西北坡，北距陽金公路小觀音站約 1 公里，西距陽金公路 600 公尺。
- b) 地質：小油坑為七星山西北坡上一爆裂口，其東南側崖壁環抱呈一典型馬蹄型狀，向西北坡開口；崖壁最大之高差達 100 公尺，爆裂口有噴氣孔嘶嘶作響，並有大量熱氣上升，瀰漫天空。爆裂口內之安山岩多受熱氣腐蝕換質而成蛋白石，或矽化成火山渣。西北側較外圍之岩石轉化成黏土，噴氣孔附近有昇華的硫磺析出。為大屯火山區硫磺產地之一。

16、後山溫泉

- a) 位置：位於北磺溪上游鹿角坑溪之溪谷中。
- b) 地質：本區露出的岩石主要為凝灰角礫岩。溫泉泉源有兩處，相距約 6 公尺，其中一處位在河床上，另一處在河岸邊，以後者較大（寬約 70 公分、長約 1 公尺），均屬地壓式泉湧。在泉源處有白色硫化物析出。

17、馬槽溫泉

- a) 位置：隸屬台北市北投區湖田里，於七星山東麓，亦即陽金公路馬槽橋上方之馬槽溪谷。
- b) 地質：馬槽溫泉亦為爆裂口地形，爆裂口規模之大，為陽明山公園溫泉區之冠。崖壁上下高差達 30 公尺以上，崖壁露出新鮮堅硬灰黑色的紫蘇輝石—角閃石安山岩流與輝石安山岩。爆裂口底覆蓋凝灰礫岩。本爆裂口有泉源數處，主要沿著斷崖下方湧出，附近圍岩大多受熱液換質作用影響，局部出現強裂的矽化帶和黏土化。矽化帶岩質是乳白色至灰色。噴氣孔周圍亦有昇華的硫磺析出。區內斷層構造複雜，較重要者為東北—西南走向，延伸方向與馬槽溪流向近似。推測該斷層線之發育與本區之溫泉活動有密切關連。

18、七股溫泉

- a) 位置：位於陽金公路馬槽橋下游馬槽溪溪谷中。
- b) 地質：泉源位在馬槽溪流之下方；受上游之河床沖積物影響而不甚穩定。泉湧之產狀屬地壓式湧流，泉質清澈。岩層以凝灰角礫岩的出露為主，局部已受熱液換質的影響，呈現灰白色。

19、翠林橋溫泉

- a) 位置：位於陽金公路馬槽橋下游馬槽溪翠林橋旁。
- b) 地質：泉湧之產狀屬地壓式湧流，泉質清澈。岩層以凝灰角礫岩的出露為主，局部已受熱液換質的影響，呈現灰白色。

20、大油坑溫泉

- a) 位置：位於陽金公路上磺溪橋上游 400 公尺之上磺溪谷中。
- b) 地質：大油坑溫泉區亦屬爆裂口地形，因位處山腰，地形陡峭，形成階梯狀，有多處小規模之熱水瀑布。本區為含角閃石紫蘇輝石安山岩，因強烈的熱液活動，岩石大多已矽化腐蝕呈灰白色，狀似火山渣，處處形成崢嶸的小山頭。堅硬多孔且耐蝕的火山小地形，因此成為本區的特殊地質景觀。此外，強烈的熱氣活動，嘶嘶作響，噴氣孔散布在溪谷及其兩側山腰，有大量鮮黃的硫磺析出，過去是本省最主要的硫磺產地之一。

20、磺溪溫泉

- a) 位置：位於大油坑溫泉下方磺溪河谷中。
- b) 地質：地質特徵相似於大油坑溫泉區，溫泉主要出露於含角閃石紫蘇輝石安山岩的熔岩流，因受強烈的熱液活動，岩石大多已矽化腐蝕呈灰白色，泉源併存有冷、熱硫磺泉質出露。

21、下七股溫泉

- a) 位置：位於下七股山東側的山溝中。
- b) 地質：泉源位在山溝中，併存有冷、熱硫磺泉質出露，泉質清澈。岩層以凝灰角礫岩

的出露為主，局部已受熱液換質的影響，呈現灰白色。

23、八煙溫泉

- a) 位置：位於陽金公路天籟溫泉館與磺溪頭之間，溫泉泉源出露於崩塌的谷地中。
- b) 地質：八煙溫泉區亦為典型的爆裂口地形，爆裂口崖高 10 公尺，裂口朝東北，兩側分由開口處往壁頂增高，爆裂口中間另有一小脊嶺，將此溫泉源分成兩處，以東側較大，形成溫泉瀑布景觀，谷裡有多處小型噴氣孔、泥塘及地壓式熱水上湧等徵兆特性。在噴氣孔四周偶可見黃色硫磺針狀析出。區內主要由紫蘇輝石—角閃石安山構成，但多已受熱液換質作用影響，岩質呈灰白至灰色堅硬狀，部分矽化成火山渣。主要斷層構造線呈東北—西南向，並延伸至大油坑溫泉區附近。

24、四磺坪溫泉

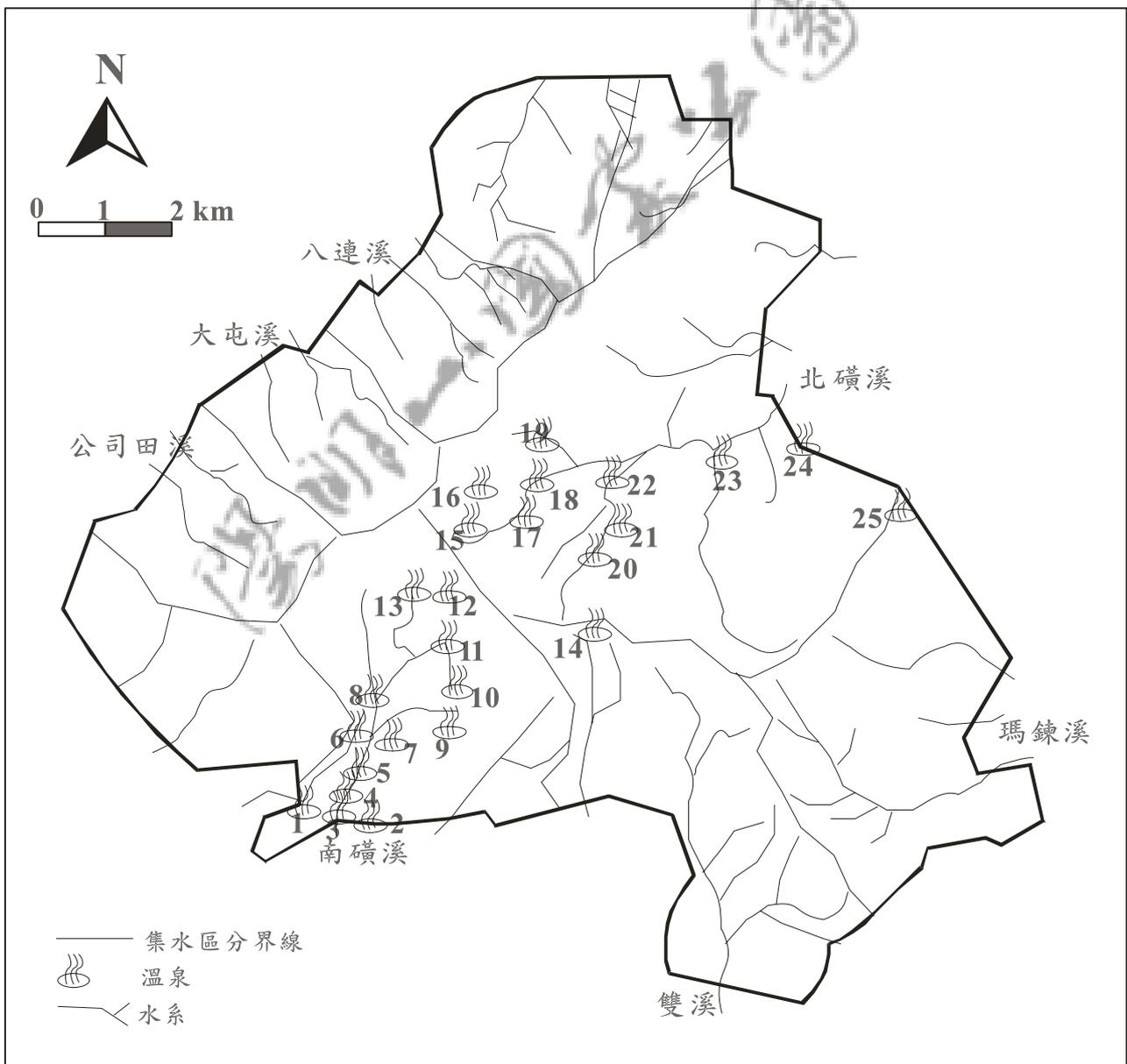
- a) 位置：位於大台北華城東南方 500 公尺，距陽金公路約 2.1 公里。
- b) 地質：本溫泉區規模與大磺嘴、雙重溪溫泉區不相上下，也是一個爆裂口溫泉地形。爆裂口朝向西北，崖壁頂部即為磺嘴山山腰，崖壁的下方為主要徵兆分布，有噴氣孔、泥塘和沸騰四濺的熱水，甚為美觀。塊狀多節理的安山岩流在爆裂口之北側及東北側露出，主要岩質是由暗灰色、質地緻密之含橄欖石兩輝安岩構成。爆裂口之東南側露頭主要為凝灰石角礫岩。局部受熱液換質作用，或呈黏土化、矽化狀。噴氣孔附近亦可見昇華針狀的硫磺析出。

25、(火庚)子坪溫泉

- a) 位置：(火庚)子坪溫泉位在磺嘴山之東北側山腳下，清水溪上游地區。
- b) 地質：此區為一爆裂口地形，爆裂口朝向東北；由於河流短促，落差甚大，本爆裂口形成多處階狀的小瀑布。區內主要岩層為磺嘴山安山岩流構成，岩質為暗灰色、質地緻密之含橄欖石兩輝安山岩組成。岩石受到強烈的熱液換質作用，岩質大多已呈灰白至灰色之堅硬岩塊，或呈火山渣狀。

爆裂口中心仍可見許多噴氣孔等溫泉徵兆，熱氣騰騰的溫泉景觀嘶嘶作響，聲勢頗為壯觀炫麗。噴氣孔周圍有大量硫磺，成塊狀或晶簇狀析出，此區曾有簡易的硫磺礦場。磺嘴山岩流有如一根舌頭，明顯的岩流造成庚子坪與金山坪。在舌根之南北兩側，分別為庚子坪溫泉區與四磺坪溫泉區，因此推測兩溫泉可能為同一熱源，只因岩流分布，地形影響而隔開成兩個溫泉區。

圖十二：陽明山國家公園內溫泉的分布；溫泉代號和內文相同。



第二節 地熱分布

地熱是地熱資源或地熱能的簡稱，指的是蘊藏在地殼表層3-5公里內、具開採價值的天然熱水或蒸氣。地球內部所蘊含的熱能巨大無比，但以目前的技術，我們尚不能任意開採，只能開發地殼淺部地溫梯度異常高的地點之地熱資源。地球表面每年散失於大氣中的熱量高達 2.4×10^{17} 千卡，約相當於燃燒 1.68×10^{11} 桶原油所產生的熱量，這已經遠超過全世界每年所產石油的熱當量了。故地熱若能好好的開發利用，則地球的能源將不會有匱乏的一天。

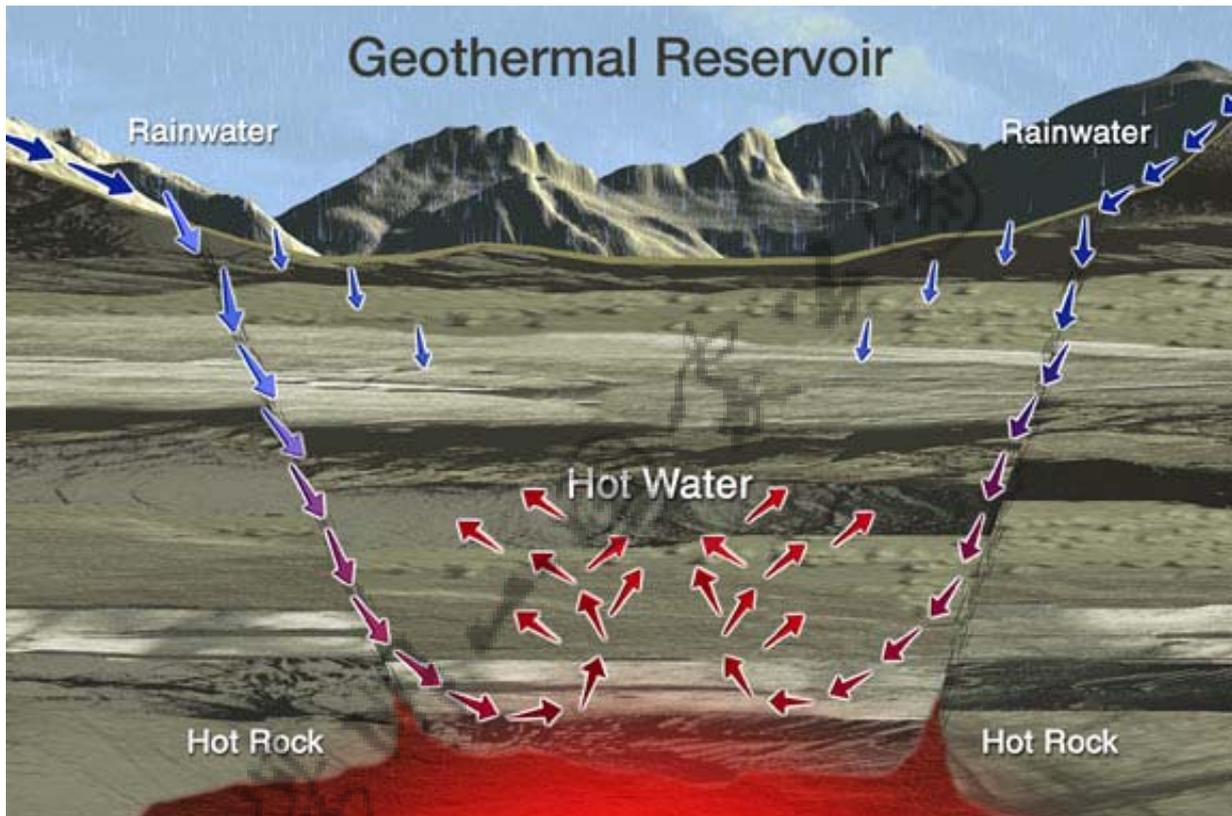
地球可看成是由三個同心圓所構成，亦即地殼、地函及地核。地球內部的溫度，一般推測地心內核（地表五千公里以下）可能高達攝氏6,000度，外核（地表以下二千九百至五千公里）大約是攝氏3,000~5,000度，地函（地表以下三十至二千九百公里）則大約是攝氏500~3,000度。最外層的地殼好像蘋果的皮，其厚度在海洋地帶平均是5公里，在內陸則約20~65公里。地殼的地溫梯度平均是每公里攝氏20-50度左右。

地球內部的熱能是基本熱源，然而欲形成具有開發價值的地熱田，須有較高溫的熱源集中於地殼淺部，以提供充分的熱能。造成熱源局部集中或異常地溫梯度的原因，實際上與地殼板塊運動有密切的關係。板塊運動的結果使其邊緣地帶溫度局部增高，熱能集中，形成顯著的異常地溫梯度，進而產生火山活動及火成岩的侵入，並使地震頻繁。世界上主要的地熱區大部分分布在板塊邊緣的火山活動帶中。地熱田形成需包含三部分：儲存層、蓋層和裂隙。淺部的熱能主要是經由地球內部傳送至地表，或是藉由地底深處的岩漿移動，把熱能帶到地表淺處，形成所謂的地溫梯度，然後藉由雨水降至地面，並滲入為地下水，再經斷層或裂隙深入地下，經地熱加熱後，大部分熱水儲存在滲透性良好的儲集層，如砂岩或裂隙岩層。小部分熱水再循環上升，湧出地表，形成溫泉或噴汽孔。熱水在儲集層時因受到蓋層的阻擋，會滯留在儲集層內，並在此發生對流作用。蓋層為一緻密不透氣的岩層，通常是沈積岩及火成岩，因為不發生對流作用，故其中溫度梯度很大。我們可想像此地熱儲集構造是熱源在下、儲集層居中、蓋層在上、地下水由側面補給，恰似一個天然燒開水的茶壺(圖十三)。若鑽井鑽到儲集層，會有大量的熱水及蒸氣噴出，以供使用。

火山活動及火成岩侵入到地表淺處可造成較高溫的地熱田。這一類熱源存在於地殼5~15公里深，正在活動或尚未冷卻的岩漿庫，或侵入的火山岩體中，其地溫異常值常高於正常值的三倍以上，例如分布在環太平洋隱沒帶的火山環、熱點上方的夏威夷和中洋脊頂端的冰島等，都有岩漿庫存在於地底下。如果沒有火山活動，而是以板塊活動帶的地溫異常帶為熱源

所造成的地熱區，其範圍常較大，但溫度較低。這一類熱源是由板塊運動所引起，造成的地溫梯度異常值，可能是正常值的一倍半至二倍。其異常區域的範圍可能很大，大致整個山脈都能涵蓋其中，如歐亞板塊和菲律賓海板塊碰撞所形成的台灣中央山脈造山變質帶。世界上主要的地熱區大都分布在板塊邊緣的火山活動帶中。

圖十三: 地熱儲存層模式圖。



地熱系統的種類

根據地熱流體在儲集層中的形式，地熱系統大致可分成熱水型和蒸氣型兩種。熱水型的地熱系統是以熱水存在於儲集層中。水相控制儲集層壓力，其溫度最高可達攝氏370 度左右，低者則僅數十度。攝氏200 度以上的地熱系統，因為熱水到達地面後，可有10~30% 轉變為蒸氣，故比較有發電價值。

蒸氣型是由高溫熱源供應熱量，加上岩層的低滲透性而形成。早期原是熱水型，後因熱水湧出量多於地下水注入量，逐漸轉變成蒸氣型；水受熱沸騰變成蒸氣，使水位下降至深部。部分蒸氣冒出地面，大部分蒸氣接近地表時又冷凝下來，蒸發熱則經由對流作用向地表傳送。在蒸氣儲集層中是熱水及蒸氣兩相共存，由蒸氣相控制儲集層壓力。熱水相因表面張力大，

在小孔隙中流動，蒸氣相則經較大的管道逸出。世界上地熱系統中蒸氣型約占10%，熱水型約占90%。

台灣的地熱資源

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的碰撞造山帶上，因碰撞擠壓地震特別多；同時，地層也容易發生斷層和褶皺作用，使岩層不斷地抬升和破碎，形成今天我們所看到的山脈。而岩石又是一種不良的導熱物質，熱能不容易散失；隨著地層不斷地抬升，地熱長期累積的結果，造成台灣地區高的地溫梯度。此外，台灣北部地區和東部外島，曾發生大規模的火山活動；目前雖暫時停止，但高溫的岩漿餘溫仍存在於火山地底下，使得「後火山活動」相當劇烈地進行著。

而台灣又是位於西太平洋邊緣的海島，受夏天西南季風、冬天東北季風和夏季颱風的影響，雨量豐沛，除外島的澎湖外，全台各地的年平均雨量可達三千公釐以上。豐沛的雨水降到地面後，就沿著裂隙或破碎的岩層滲入地下，被高的地溫梯度或岩漿的餘溫加熱，產生豐富的地熱資源，而溫泉即是地熱系統重要的徵兆之一。

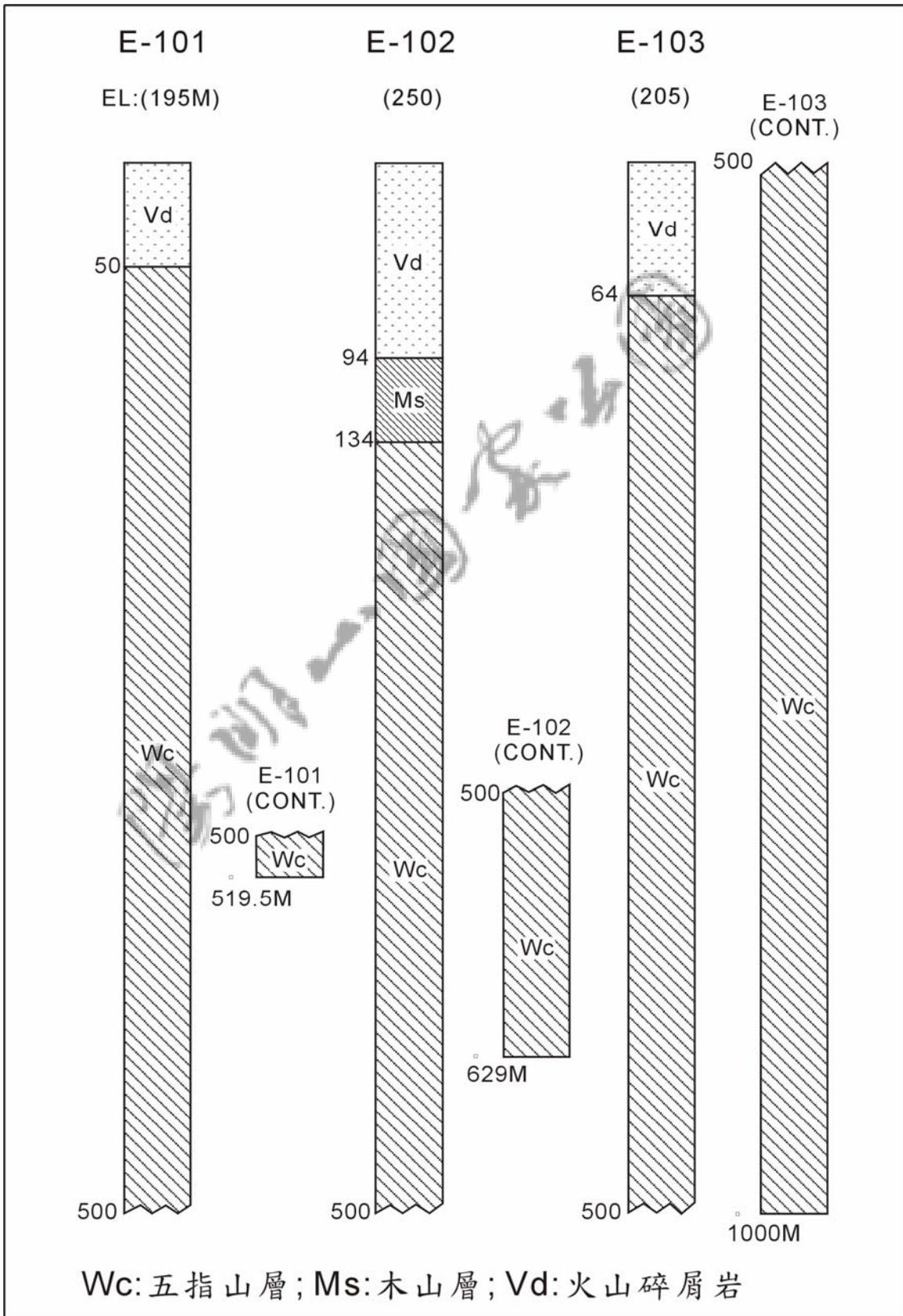
台灣的地熱資源主要蘊藏在火山區和變質岩區，火山性地熱系統僅有北部大屯地熱區及宜蘭外海的龜山島兩處，其它地熱區皆屬非火山性熱水型地熱系統，大多分布於中央山脈變質岩地區，少數分布於西部山麓帶的沈積岩地區。火山性地熱系統的熱源主要來自岩漿。在火山活動的地區，地底下有岩漿庫可提供大量的熱源。而火山噴發時所形成的火山碎屑岩，或是火山劇烈活動對岩層產生爆破作用，形成豐富的裂隙和斷層；此時若有地表水，就可能滲入地下深處，被加熱而形成高溫的溫泉或蒸氣。大屯火山群最後停止噴發的時間可能年輕於10萬年，由活火山現象定義(火山地震、高的地熱流、高濃度的火山氣體和氦同位素等)顯示，大屯火山群地底下還有活躍的岩漿庫存在，應歸類為活火山，故目前後火山活動的氣體和高熱流量，造成該地區有很高的地溫梯度，在鑽探所及的深度，二千公尺範圍內是攝氏200~300度。

大屯火山群的地熱資源主要蘊藏於基盤巨厚的五指山砂岩層內，該地層厚度最少有一千公尺，其中砂岩佔85%，主要為細粒至極粗粒後層的石英砂岩，間夾有礫岩層。部分砂岩孔隙率高達22.6%，另有部分砂岩裂隙發達，故為良好的儲存層。五指山砂岩層自大屯火山群南方的新北投向東北方向延伸到金山海邊，其南北兩端都有五指山層的出露，中間地帶則逐

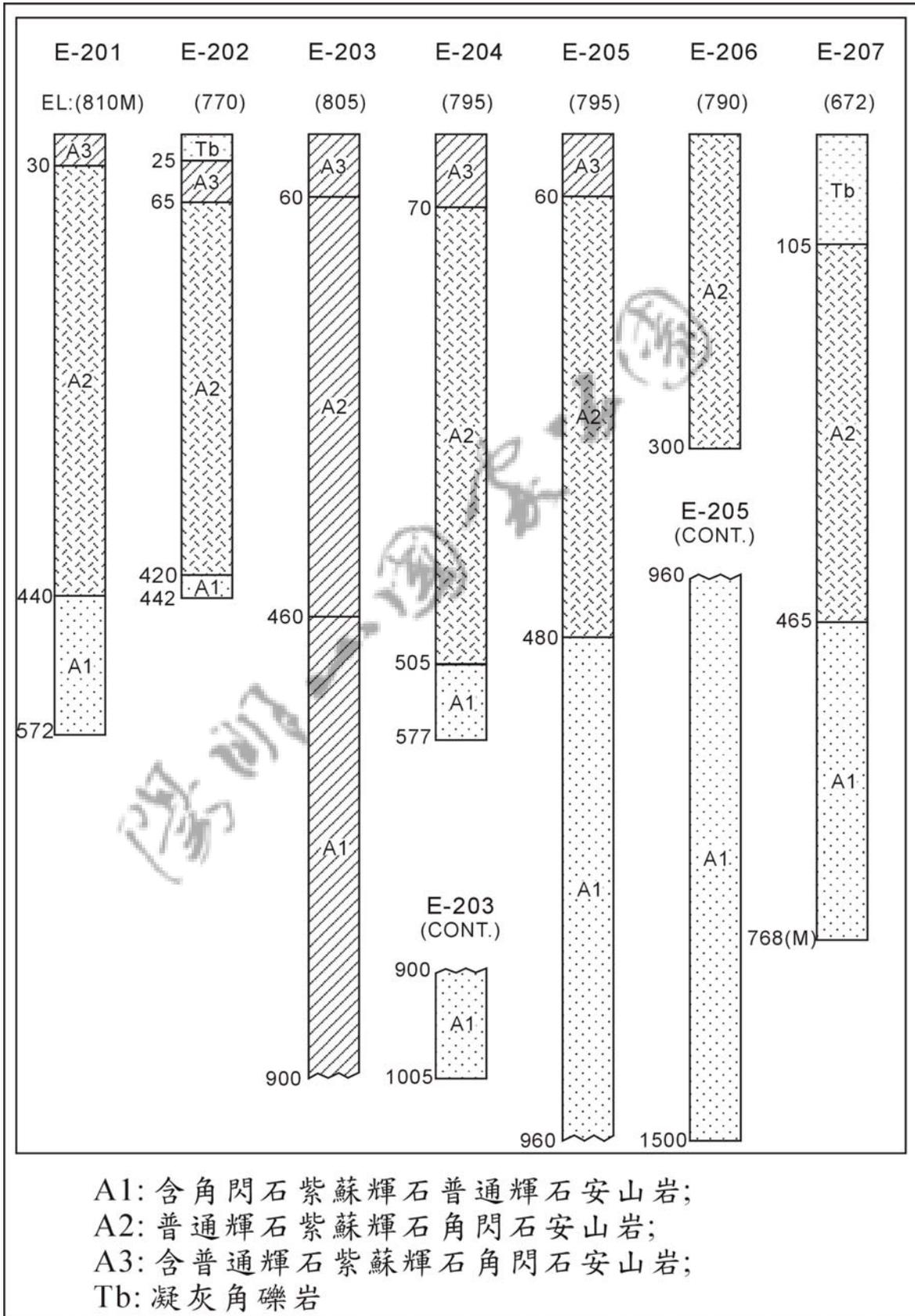
漸深陷，並且被厚層的火山岩體所覆蓋。由於這一深部儲存層的存在，在地面上形成一條長約18公里、寬約3公里、成東北走向的地熱帶，貫穿火山群的中部，呈現最少十幾處的地熱徵兆區，以及廣泛的熱水換質區域，這些地熱活動主要以馬槽和硫磺谷地區為中心，圍繞七星山、紗帽山、磺嘴山、大尖後山等分布，形成一個面積達36平方公里的地熱田。六〇年代，台灣在國外學者和技術人員的協助下，曾在陽明山的馬槽地區和北投的大磺嘴地區，進行大規模的地熱探勘，並進行大規模的地熱鑽井探勘和潛能的利用評估，鑽井岩芯岩性分布如圖十四至圖十八。1972年瑞士Motor-Columbus顧問公司估計大屯火山群地區有10萬至50萬千瓦的地熱潛能，為台灣地區地熱能最富集之地區，其地下熱水溫度最高達293°C，地面噴氣孔溫度最高達120°C，可惜大屯火山群的地熱水中硫酸成分太高、pH 值在2~5 之間、腐蝕性太強，而儲集層的石英砂岩無中和酸的能力，故尚未能大規模利用。大屯火山群的地熱帶未能探得大量近中性的熱水，除了因火山酸性氣體滲入深部儲集層和儲集層的石英砂岩無中和酸的能力外，儲集層上方的安山岩厚度不夠也是原因之一。若安山岩的厚度夠厚，則不但有中和熱水的酸性之外，還可提供厚的高裂隙的儲存層供熱水儲存，而能讓我們開發利用。

非火山性變質岩區的地熱系統的熱源主要來自高的地溫梯度。以台灣為例，由於位處歐亞板塊和菲律賓海板塊的聚合邊界，造山運動劇烈，地殼抬升速度高，每年可達五公釐以上，部分地區甚至每年達二十公釐；而岩層是熱的不良導體，高溫的地殼抬升至淺處，而岩層無法快速散熱，於是在地殼淺處就累積了多餘的熱能，形成甚高的地溫梯度，約每公里可上升攝氏45~60 度，較全球平均地溫梯度，高出甚多。中央山脈由於有甚高的地溫梯度存在，加上高山峻嶺的地形配合，谷底的地面水位又較高山中的地下水位低很多，於是在谷底形成了相當大的靜水壓力差；而變質岩區的節理、片理、劈理等裂隙又特別發達，因此，中央山脈變質岩區的溫泉大多發生在山谷河床中，如山脈東側的清水、仁澤、土場、瑞穗、知本和金崙溫泉等，以及南橫公路沿線的寶來和霧鹿等溫泉。非火山性沈積岩區地熱系統基本上比較少。以宜蘭礁溪溫泉為例，即是老的斷層被新的河流沖積扇沈積物所覆蓋，熱水沿著老的斷層裂隙上湧至沈積物底下，然後與沈積物中的地下水混合，形成豐沛的礁溪溫泉。另外，以關子嶺溫泉為例，其組成的岩層是上新世的泥岩和泥質砂岩，膠結度差，不太可能有深長延續的裂隙通到地殼深處（深度可能超過二至三公里），以供熱水上湧至地表；其次因台灣造山運動，中央山脈快速地隆起，侵蝕大量的沈積物堆積在沈積盆地內，形成高壓的地質環境，高的地壓迫使地層熱水沿著裂隙上升至地表形成溫泉。

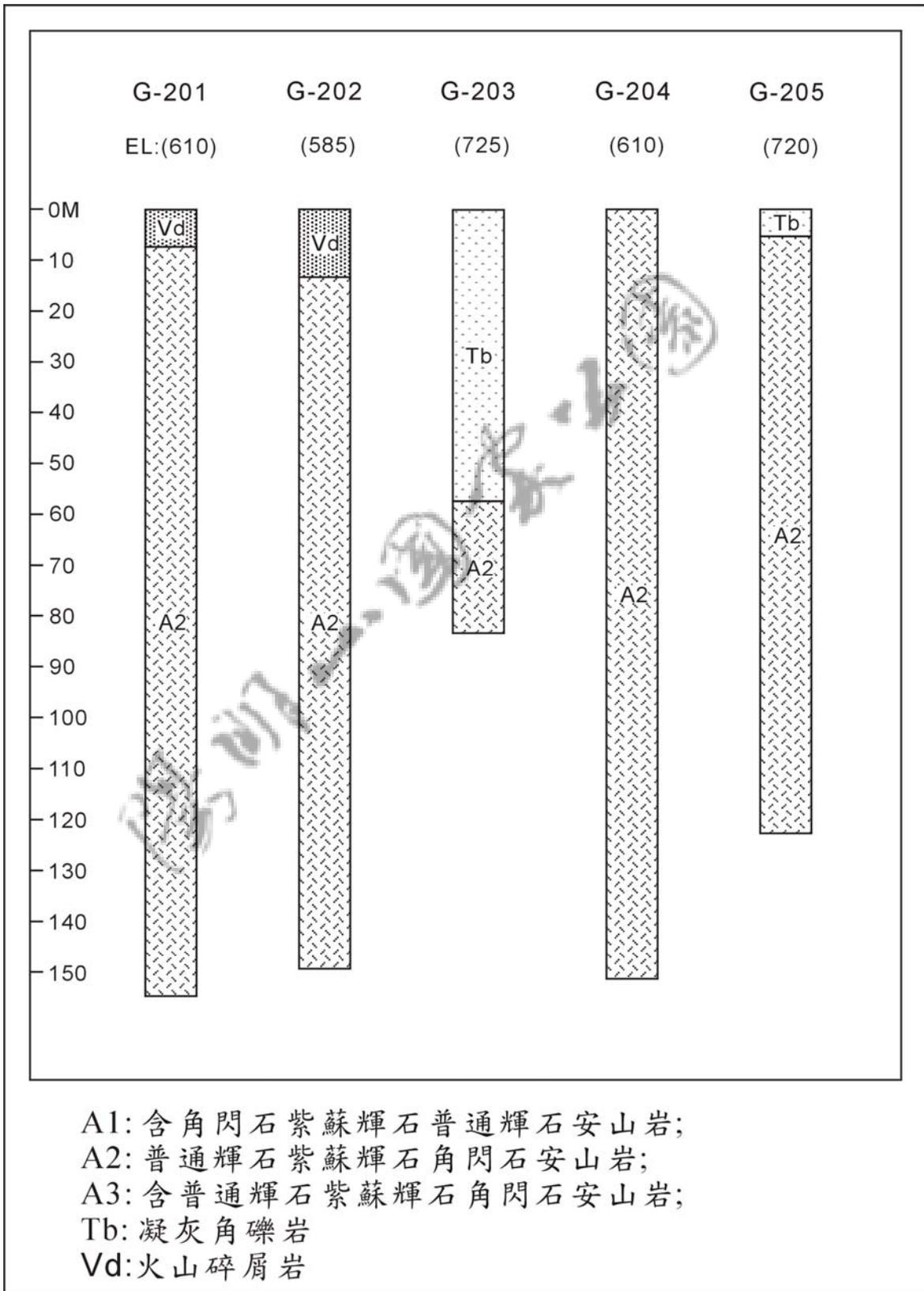
圖十四：大屯火山群北投地區地熱探勘井岩性柱狀圖。



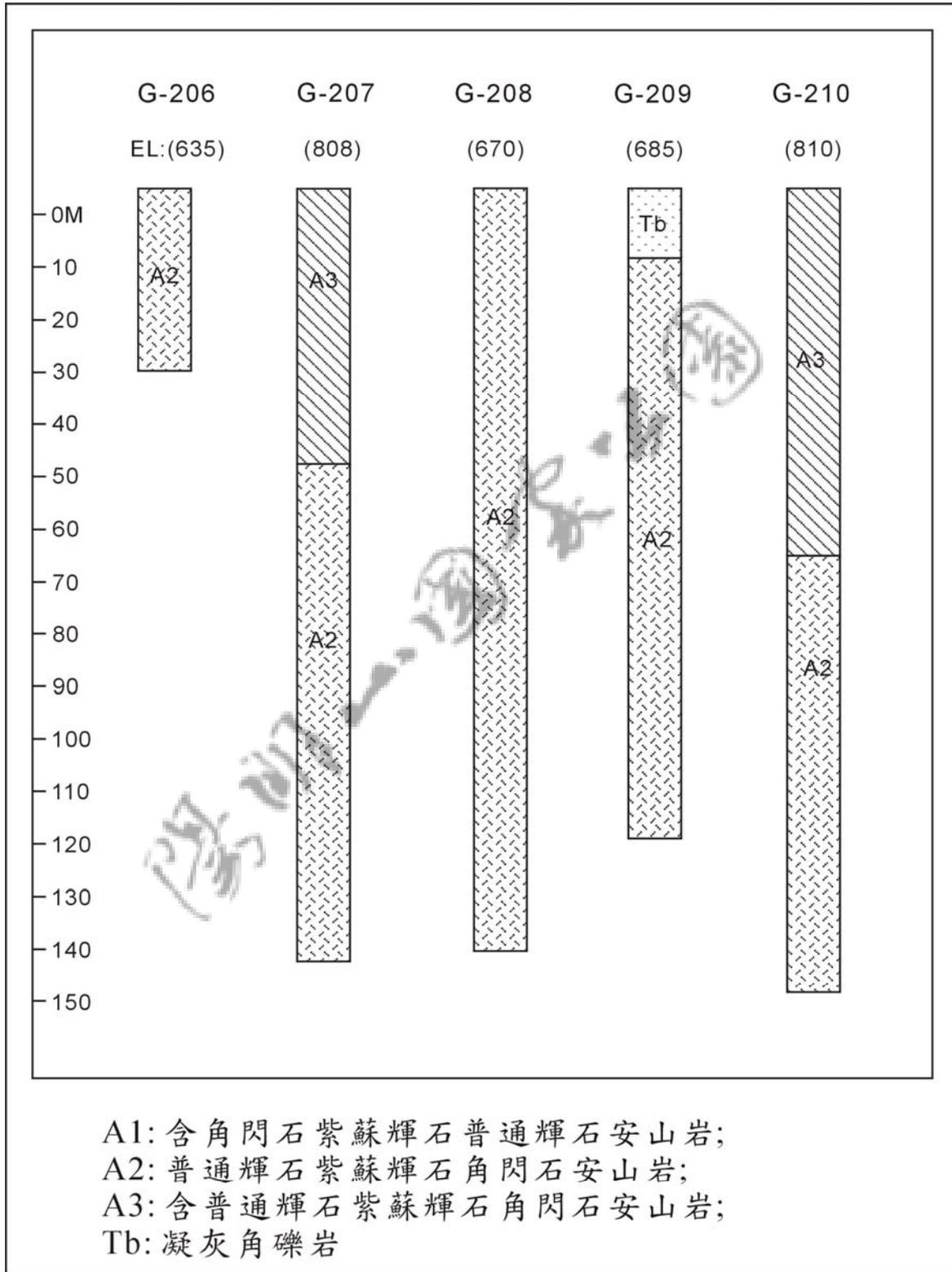
圖十五：大屯火山群馬槽地區地熱探勘井岩性柱狀圖(I)。



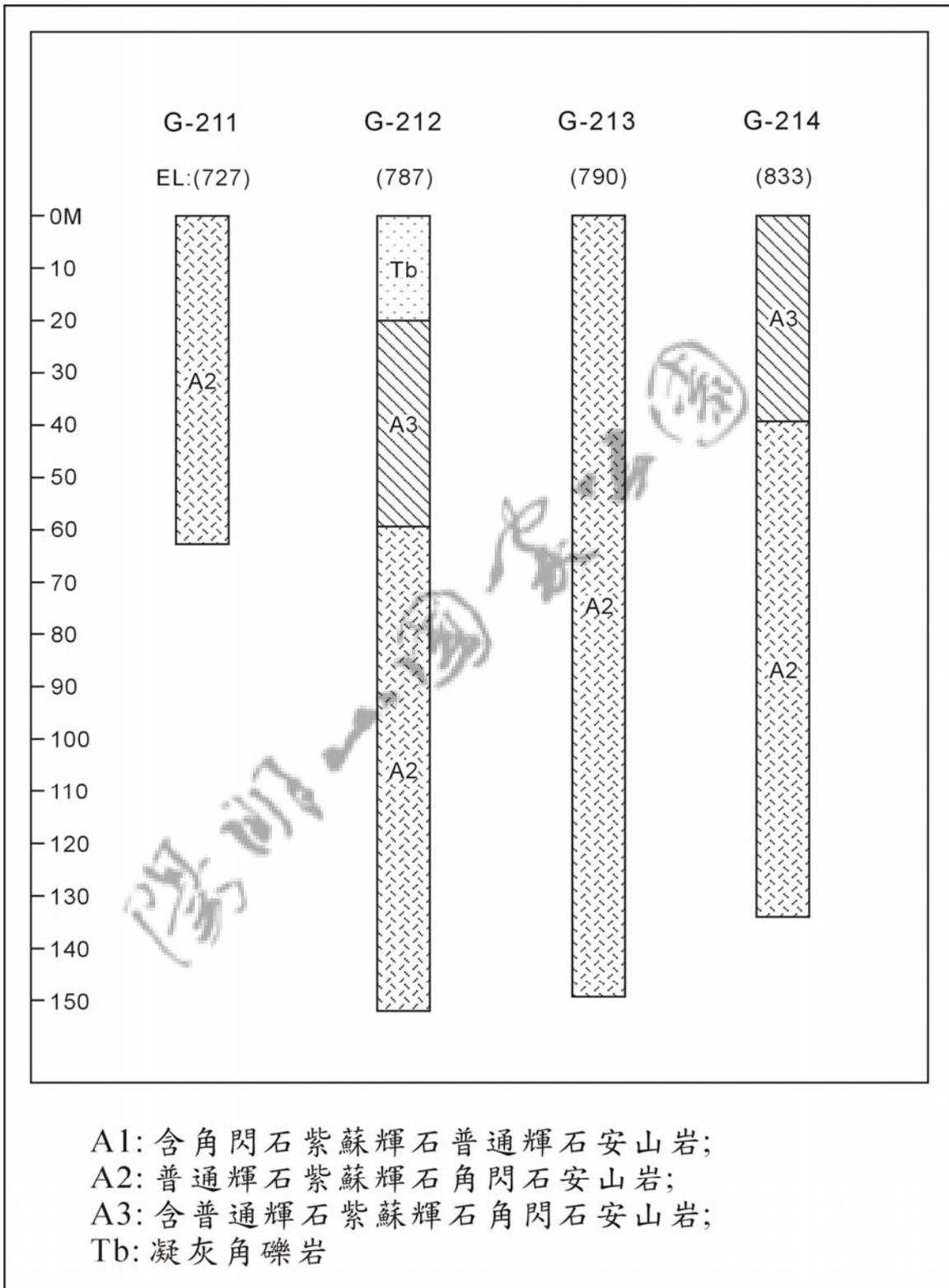
圖十六：大屯火山群馬槽地區地熱探勘井岩性柱狀圖(II)。



圖十七：大屯火山群馬槽地區地熱探勘井岩性柱狀圖(III)。



圖十八：大屯火山群馬槽地區地熱探勘井岩性柱狀圖(IV)。



地熱的利用

地熱資源的利用有發電及直接利用兩大類。根據1995年統計資料，目前美國的地熱發電總裝置容量將近2800百萬瓦，供應大約4百萬人使用，直接利用裝置容量計1870百萬瓦；而全世界地熱發電總裝置容量將近6500百萬瓦，供應大約6千萬人使用，直接利用裝置容量合計9000百萬瓦(表二)。另地熱資源也是除了石油和煤之火力發電和核能發電外，最大的替代能源(表三)，有些國家如冰島，其地熱所發的總電量佔該國總發電量的比例相當的高(圖十九)。

地熱區大多位於偏僻的山區且交通不便，早期因輸送電力比較容易，所以地熱的利用以發電為主，後來才朝向直接利用發展。原因之一是地熱發電只能達到一成左右的利用效率，而直接利用可提高至三成或四成。又因中低溫熱水型地熱資源（溫度是攝氏50~150度）遠比高溫蒸氣型地熱資源（溫度高於攝氏150度）多，有些國家如匈牙利、羅馬尼亞、法國等的地熱溫度不高，不可能做為地熱發電之用，但在直接利用上卻有十足的潛力。地熱的利用根據其溫度高低可做各種用途。傳統式蒸氣發電所需地熱流體溫度在攝氏150 度以上。如果使用雙循環熱交換式發電所需地熱流體溫度可顯著降低至攝氏100 度左右。又暖房及溫室用途所需溫度約攝氏80 度，溫水游泳池則約攝氏30 度。

表二：世界各國地熱發電和直接利用統計表(1995年)

	Electricity Generation		Direct Utilization	
	Installed Capacity MW _e	Annual Output GWh	Installed Capacity MW _e	Annual Output GWh
China	28	98	2,143	5,527
Costa Rica	60	447	--	--
El Salvador	105	419	--	--
France	4	24	456	2,006
Georgia	--	--	245	2,136
Hungary	--	--	638	2,795
Iceland	50	265	1,443	5,878
Indonesia	309	1,048	--	--
Italy	626	3,419	308	1,008
Japan	299	1,722	319	1,928
Kenya	45	348	--	--
Macedonia	--	--	70	142
Mexico	753	5,877	28	74
New Zealand	286	2,193	264	1,837
Nicaragua	70	--	--	--
Philippines	1,501	5,470	--	--
Poland	--	--	63	206
Romania	2	--	137	765

陽明山溫泉、地熱資源與利用調查

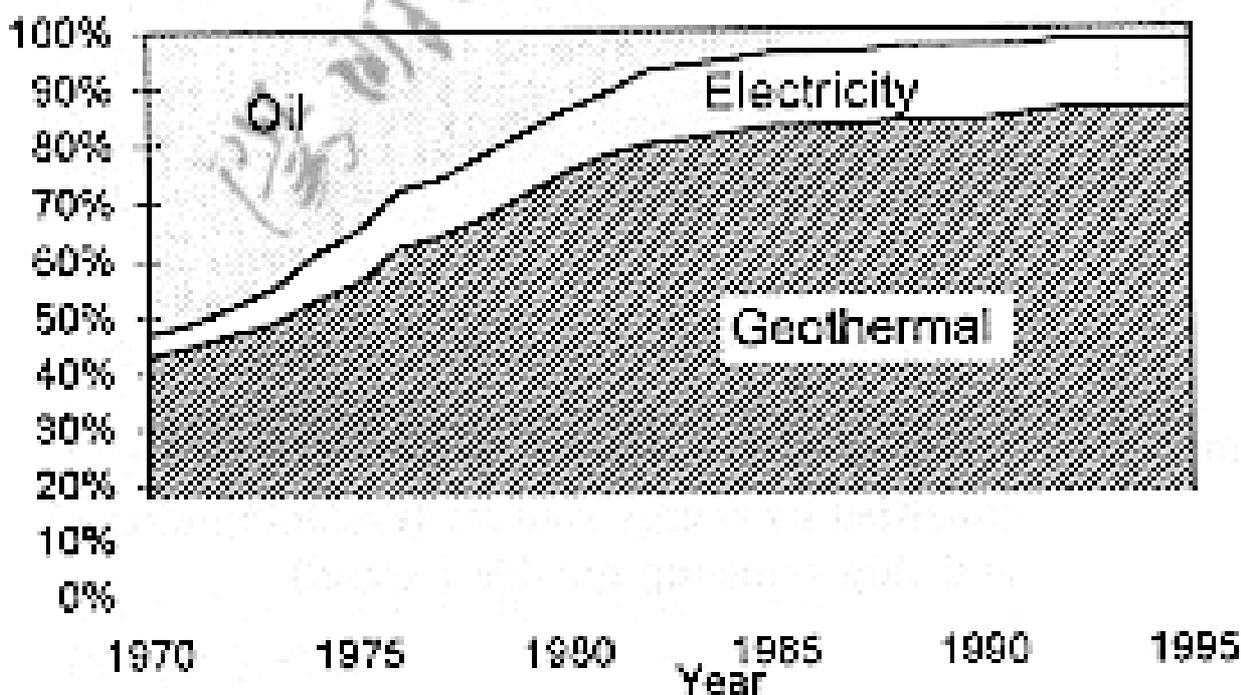
Russian Fed.	11	25	210	673
Serbia	--	--	80	600
Slovakia	--	--	100	502
Switzerland	--	--	110	243
Tunisia	--	--	90	788
Turkey	20	68	140	552
USA	2,817	16,491	1,874	3,859
Others	7	40	329	1,935
Total	6,543	37,952	9,047	33,514

表三:世界上地熱、風力、太陽能 and 潮汐發電等四種替代能源統計表

	Installed Capacity		Production Per Year	
	MWe	%	GWh/y	%
Geothermal	6,456	61	37,976	86
Wind	3,517	33	4,878	11
Solar	366	3	897	2
Tidal	261	3	601	1
Total	10,600		44,352	

Source: WEC Survey of Energy Resources (WEC, 1995).

圖十九:冰島全國產生暖氣使用能源方式統計圖。



地熱的直接利用包括有泡湯、保暖、溫室、種植蔬果和養殖魚蝦等。

1、泡湯

人類利用溫泉資源，最明顯的例子首推泡湯。在早期農業社會中，一天辛勤工作完後，泡在天然的溫泉池中，對於消除疲勞、恢復體力有莫大的幫助。台灣早期的宜蘭礁溪溫泉，即是供墾民在辛勤工作後消除疲勞的沐浴之用。現代緊張的都市社會裡，在一天緊張的工作後，若也能泡個舒適的溫泉浴，一定可消除一天的身心疲勞。日本是最愛泡湯的民族，而台灣近年來在觀光局大力倡導溫泉觀光以來，溫泉泡湯也變成現今台灣社會中最為熱門的休閒活動之一。

目前台灣地區的溫泉，大部分做為泡湯或沐浴之用，其利用的方式有很多種。以宜蘭礁溪的溫泉為例，使用於泡湯或沐浴方式包括有：溫泉旅館、公共浴室、一般住家和游泳池等。其中，大部分的外來遊客，都在溫泉旅館中享受泡湯之樂，而公共浴室和游泳池中的溫泉，大多是鄰近社區居民在使用。

在一般社會大眾的認知裡，或民間的傳說中，都認為溫泉水中含有大量的礦物質或離子，具有醫療的效果，能治百病，或對身體有潛在的好處。所以，坊間的溫泉業者，就常以此為號召，招攬生意。但到目前為止，不管是在台灣或是在國外，並沒有真正具公信力的醫療機構，發表有關溫泉臨床實驗療效的報告或治病的例子，故民間所稱的溫泉療效，常是民俗醫療推論的結果，姑且聽之，不可深信不移，延誤醫療。

2、保暖

位於熱帶、亞熱帶的台灣，即使非常寒冷的冬夜，屋內也不需要暖氣。但在高緯度地區居住的人們，在冬天的日子裡，屋內就須有保暖的裝置，才能安度冬天嚴寒的侵襲，不至於凍死。屋內保暖的裝置，各地區不同，例如中國大陸東北地區，利用燒炕的方式使屋內溫暖，北美和歐洲中、北部地區利用火爐來取暖，另有些地區則是在屋內佈滿水管，然後燒熱水流通水管管道取暖等，這些方式都需要消耗大量的能源。但在有溫泉的高緯度地區，如冰島和紐西蘭，則是引用高溫的溫泉水，流入佈滿水管的房屋，使屋內溫暖，這種做法不僅能保暖，也能節省能源。

3、溫室

在高緯度嚴寒的冬天，一般低等植物的生長，已非常的不容易，何況是蔬菜、水果和花卉等較高等的植物，故在高緯度地區的人們，冬天要攝取新鮮綠色蔬果和欣賞漂亮的花卉，唯有建造溫室，才能達成。在冰天雪地的地方，要使溫室保持恆溫，所要消耗的能源相當的大，種植的蔬果花卉成本相當高，不是一般社會大眾所能承受的，故若有源源不斷的天然高溫溫泉，來供給溫室所需的熱源，則可以種植出廉價的新鮮綠色蔬果和花卉，供大眾所需。冰島的很多小城鎮，就是因為鄰近於火山地區，地下岩漿餘熱供給高溫的溫泉，用來建造溫室以種植蔬菜、水果和花卉等植物，而聞名於冰島。

4、種植蔬果

溫泉除了在寒帶地區被當作溫室熱源的來源外，其也可以直接用以灌溉，當作種植蔬菜、水果和花卉的水源。台灣宜蘭礁溪有名的空心菜、筊白筍、絲瓜和蕃茄等，即是利用礁溪溫泉水種植的，長得碩大且產量豐富。

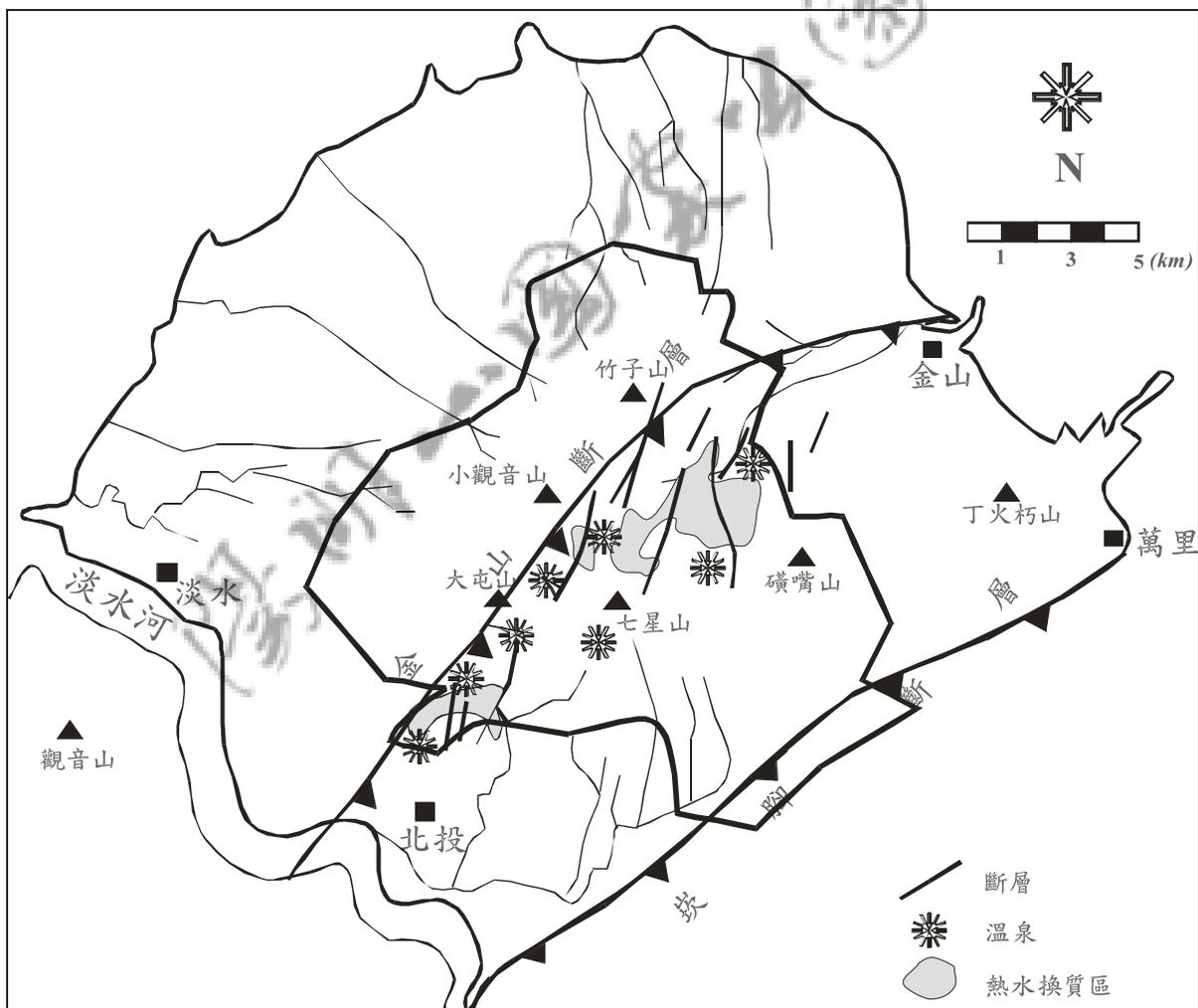
5、養殖

溫泉水也可以用以養殖漁業，例如礁溪地區曾用溫泉水養殖高經濟價值的甲魚。一般的養殖魚類，需要保持一定的水溫，尤其台灣北部地區在冬天常有寒流來襲，溫度常低於 10°C 以下，而一般甲魚的最適當生活的溫度為 $28^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ， 15°C 以下則停止進食， 12°C 以下則會潛入水底或泥中進行冬眠，若能使魚池中的水溫終年保持在 $28^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之間，則甲魚能省掉冬眠的時間，持續生長，從種苗到上市的時間就可縮短，而具有高度的經濟競爭能力。

第三節 熱水換質區域分布

大屯火山群的溫泉和氣體大都呈強酸性，且溫度高，對安山岩的蝕變作用甚大，同時噴氣孔所含 H_2S 與 SO_2 氧化水解後也形成強酸(H_2SO_4)，對安山岩的腐蝕更為強烈，又地表淺部已有之硫磺、硫化鐵氧化後也可能形成強酸，亦增加安山岩之蝕變作用，種種原因促使安山岩遭受強烈的熱水換質作用，故大屯火山群內、尤其是地熱活動強烈的區域，熱水換質區域遍佈各溫泉區和曾有噴氣孔活動的地區(如圖二十)。

圖二十：陽明山國家公園內熱水換質區域分布圖。



根據過去的研究顯示，大屯火山群熱水換質區域內換質礦物計有低溫型白矽石(low-cristobalite)、低溫型磷石英(low-tridymite)、低溫型石英(low-quartz)、蛋白石(opal)、高嶺土(kaolinite)、管狀高嶺土(halloysite)、變水高嶺土(meta-halloysite)、明礬石(allunite)、硬石膏(anhydrite)、方解石(calcite)、黃鐵礦(pyrite)、硫黃(sulfur)、蒙脫石(montmorillonite)和透長石(sanidine)等。進一步以礦物群為依據，把換質帶細分為弱換質帶、黏土化帶、明礬石化帶、矽化帶和硫磺硫化鐵帶等。矽化帶和硫磺硫化鐵帶多處於中心位置，與噴氣口關係密切，明礬石化帶亦多在噴氣口附近，黏土化帶則在外圍。以下針對各換質帶之礦物組成與特徵分別敘述如下：

(1) 弱換質帶

弱換質帶位於換質帶的外圍，與新鮮安山岩或火山碎屑岩無明顯界線，與黏土化帶之界線亦難劃分。岩石中原有之長石與鐵鎂礦物外形仍可識別，但光澤與光性多已失去。換質礦物包括低溫型磷石英、管狀高嶺土和黃鐵礦，前二者主要是由長石換質而成，岩石裂隙常可發現氫氧化鐵($\text{Fe}(\text{OH})_3$)。此種換質岩石之 FeO 含量較原有岩石低，但 Fe_2O_3 含量則較高， MgO 與 CaO 的含量幾乎完全消失。

(2) 黏土化帶

黏土化帶之岩石呈白色或灰黑色(被硫化物污染所致)，質軟且具黏性，原母岩之安山岩的組織已被破壞，換質礦物主要為高嶺土、管狀高嶺土與變水高嶺土，其次為黃鐵礦、硫黃、明礬石、石英、白矽石與磷石英。黏土化帶常在儲集層之上方與外圍，是因酸性熱水或蒸氣與火山岩蝕變作用所造成，黏土化作用至今仍可見熱液活動處，如四磺坪和(火庚)子坪等地皆可見。

(3) 明礬石化帶

明礬石化帶多分布在高溫及強酸性環境下生成，例如噴氣孔或硫氣孔之周圍，母岩原有之礦物與組織完全被破壞，換質岩呈現白色或灰白色土狀，主要換質礦物包括有明礬石、石英、白矽石與高嶺土等。明礬石常呈細粒結晶，在肉眼下與高嶺土或白矽石無法區別，但在顯微鏡下則甚容易。

(4) 矽化帶

矽化帶可依照期堅硬程度細分為堅硬緻密帶和鬆軟多孔帶。

- (a) 堅硬緻密帶：分布於七股和大油坑附近，換質岩呈現白色至灰白色，岩石堅硬耐侵蝕，故多呈現陡峻地形。主要換質礦物包括有低溫型磷石英、低溫型石英、明礬石、黃鐵礦、硫黃和高嶺土等，二氧化矽含量有時可高達90%，明礬石和硫黃可局部富集成礦。部份岩石孔隙度很高，可能是因早期熱水溶蝕岩石中部份礦物所形成。
- (b) 鬆軟多孔帶：分布於地表淺處，主要換質礦物包括有蛋白石和低溫白矽石。蛋白石的產狀有二，一是原地生成，另外一種為溶解於熱水中之 SiO_2 沉澱而形成。白矽石亦有兩種產狀，一種產在火山碎屑岩內，呈球形構造，另一種產在熔岩流內，呈塊狀。白矽石可能係由矽膠、蛋白石逐漸演變而來，如有適當環境，此種礦物可能再演變為石英。

(5) 硫黃與硫化鐵帶

此帶一般出現在硫氣孔或噴氣孔之中心區，由硫氣或硫化氫與安山岩發生交代作用而形成。硫黃呈黃色或黑色礦染，細脈、扁豆狀、塊狀、或充填於矽化帶之孔隙內。硫化鐵成礦染普遍存在於換質岩中，但在此帶則可富集成礦。硫化鐵成兩種礦物存在，一種為黃鐵礦，另外一種為黑硫鐵礦，主要由交代作用或沉澱所形成。

換質岩石之化學組成與新鮮安山岩之化學組成差別甚大，前者之 SiO_2 與 Al_2O_3 含量可能發生大幅變化， MgO 與 CaO 含量幾乎消失， Fe^{2+} 大部份氧化成 Fe^{3+} ，全硫量和含水量大幅增加， TiO_2 亦較富集，部份換質岩中 SiO_2 之大量增加與 Al_2O_3 之大量減少，主要是因為酸性熱水對 Al_2O_3 腐蝕性強而對 SiO_2 腐蝕力弱的緣故。 MgO 與 CaO 含量之銳減也係在酸性熱水淋餘過程中，此兩種元素較容易被淋餘所致。 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 多發生在地表淺部。全硫量增加原因是因為換質岩內普遍存在有硫化鐵和天然硫黃。 TiO_2 因較難被熱水溶解而流失，故當其他元素被溶解流失後，此化合物之含量便相對提高了。

學明一國本也

第五章 溫泉地球化學

第一節 溫泉化學特性

溫泉水的地球化學特性，指的是溫泉水中所溶解的固體含量，也就是溫泉水中所含的離子濃度，即所謂溫泉的化學組成。研究溫泉的化學組成，可提供了解溫泉的性質、溫泉形成的方式、物質溶解度，以及區域的熱流量和地溫梯度等。

一般而言，溶質的溶解度，會隨溫度的上升而上升。溫泉的溫度較一般泉水高，在地層中流動時，主要是溶解矽酸鹽類為主的礦物、岩石等固體，這些固體物質溶解在溫泉水中的量雖不是很多，但較常溫的泉水已多出許多。

溫泉水溶解固體物質的總量約在 1 千到 2 萬 ppm（百萬分之一重，濃度單位），視溫泉種類及溫度而定。如果溫泉水形成的地方，是由可溶性高的鹽類所組成的地層，則溫泉水中的溶解濃度可以高達 25 萬 ppm 以上。

溫泉溶解的固體物質可分為兩類，一類為可以解離的物質，溶解後大部分解離為陰陽離子存在於溫泉水中，例如氯化物。另一類為非電解質，溶解後大部分仍為分子狀態存在於溫泉水中，例如矽酸分子（ H_4SiO_4 ）。

溫泉水中主要成分可分為陰離子和陽離子。常見的陰離子有氟離子（ F^- ）、氯離子（ Cl^- ）、溴離子（ Br^- ）、硫酸根離子（ SO_4^{2-} ）、碳酸根離子（ CO_3^{2-} ）、碳酸氫根離子（ HCO_3^- ）、硝酸根離子（ NO_3^- ）等。而常見的陽離子則有鈉離子（ Na^+ ）、鉀離子（ K^+ ）、鎂離子（ Mg^{2+} ）、鈣離子（ Ca^{2+} ）、鐵離子（ Fe^{2+} ）、鋁離子（ Al^{3+} ）和矽離子（ Si^{4+} ）等。

一、 溫泉的陰離子成分

溫泉的分類主要是依據溫泉水中的陰離子成分加以分類——包括氟離子、氯離子、溴離子、硫酸根離子、碳酸根離子、碳酸氫根離子、硝酸根離子等。其中，鹵素離子（氟離子、氯離子、溴離子）可能主要來自於海水、原生水（地層水）、火山氣體或溶解自火山岩；硫酸根離子可能來自火山氣體、硫化物氧化、蒸發鹽類、海水與原生水；碳酸根離子和碳酸氫根離子多數來自溶於水中的碳酸（ H_2CO_3 ），或是因岩石作用而形成；形成碳酸所需的二氧化碳氣體，在變質岩區和火山岩區相當豐富，所以碳酸根和碳酸氫根離子在變質岩和火山岩區均可形成。

碳酸溶在溫泉水中的種類會隨酸鹼性的不同而不同，pH 值大於 10 以上的溫泉，水中以碳酸根離子為主，碳酸氫根離子甚少；pH 值介於 4–10 之間，以碳酸氫根離子為主，碳酸根離子甚少；若 pH 值小於 4，則碳酸氫根離子和碳酸根離子幾乎都不存在，而以碳酸的形式溶解於溫泉水中。

在火山岩區所形成的溫泉，因火山氣體或物質含有較多的硫氣、氯化氫及硫化物等，溫泉大都為酸性溫泉，pH 值甚低，故通常為氯化物泉與硫酸鹽泉，或是兩者的混合種類，較少碳酸鹽泉。而變質岩區所形成的溫泉，則常為中性溫泉或是偏弱鹼性溫泉，故碳酸鹽泉甚多。至於沉積岩區的溫泉，則以氯化物為主，並含有或多或少的碳酸氫泉。

二、溫泉的陽離子成分

溫泉水中的主要陽離子成分為鈉離子(Na^+)、鉀離子(K^+)、鎂離子(Mg^{2+})、鈣離子(Ca^{2+})、鐵離子(Fe^{2+})、鋁離子(Al^{3+})和矽離子(Si^{4+})等。這些陽離子的來源，主要是溫泉水在儲存層，或是流動的過程中，與週遭圍岩發生化學反應，溶解圍岩的組成而來。

因為岩石中這些陽離子成分相當多，且不同的岩石，其陽離子成分也不同，故溫泉水中的陽離子濃度和種類，主要即受到週遭岩石種類的控制。

另陽離子濃度受到溫泉水中的酸鹼度和溫度影響也甚大。例如鎂離子和鈣離子含量受到碳酸鹽和硫酸鹽溶解度的控制；鋁離子和鐵離子濃度則受到溫泉水酸鹼度的控制；以及鈉離子、鉀離子和矽離子受到溫度的控制等。

三、溫泉水的沉澱物

當水中的某些成分達飽和後，就會結合成化合物沉澱——溫泉水從地底深處上升至地表時，由於溫度及壓力下降、氣體溢出、pH 值改變、氧化作用，以及因汽化而使成分濃縮等因素，原先溶解在溫泉水中某些成分的溶解度會降低，而達到過飽和的狀態，這時就會有沉澱物發生，形成結垢。

一般而言，中性和弱鹼性的溫泉水，在 pH 值上升和濃縮作用的影響下，比較容易有沉澱作用。例如台灣變質岩區的溫泉，因屬中性和弱鹼性，所以在溫泉自然湧出口的地方，常可發現白色或灰白色的沉澱物。另當溫泉水上升至地表與空氣中的氧接觸時，會發生氧化作用，

而使部分成分沉澱。例如溫泉水中的正二價鐵離子，氧化後容易形成氫氧化鐵 ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) 沉澱，或氣體的硫化氫 (H_2S)，氧化後會形成自然硫的沉澱。

在溫泉水周圍最常見的沉澱物質，包括二氧化矽（俗稱矽華）和碳酸鈣（石灰華），其他少見的有硫酸鹽（如北投石、石膏）、氫氧化鐵和硫磺等。

在地底深處溫度超過 250°C 的溫泉水，水中溶有大量的二氧化矽，當其上升至淺處或地表時，由於溫度下降或壓力減低而發生汽化濃縮，結果會造成溫泉水中的二氧化矽濃度，超過玉髓或無晶體狀態二氧化矽之溶解度，故在岩石裂縫或地表處發生沉澱作用，形成白色膠體的矽華沉澱物。因此，若在溫泉周圍發現矽華的沉澱物，即表示該地地下的溫泉水可能超過 250°C 的高溫。台灣地區除了大屯火山群有二氧化矽沉澱外，其他地方的溫泉則無二氧化矽的沉澱。

另一種溫泉區常見的白色沉澱物為石灰華，即所謂的碳酸鈣（方解石微粒）。一般而言，碳酸鈣在中性或弱鹼性的環境裡，溶解度隨著溫度的降低而上升，所以溫泉升至地表後溫度下降，並不利於碳酸鈣的沉澱。但碳酸鈣的溶解度對酸鹼度相當敏感，當溫泉水從地底深處上升，由於壓力降低，二氧化碳的溶解度降低，溫泉水會釋放出大量的二氧化碳，造成溫泉水酸鹼度的升高與鈣離子濃度的過飽和，就會發生碳酸鈣的沉澱，這種情形最容易發生在鹼性的溫泉水中。

另一種情形則是熱水因汽化或蒸發濃縮而升高酸鹼值，使得溫泉水中的鈣離子達到過飽和，接著與水中的碳酸根濃度結合，形成石灰華沉澱。台灣變質岩區溫泉出口處，常可見到白色的沉澱物，或鑽井的管線常有白色的結垢，這些都是石灰華。

常見的石灰華結晶礦物為方解石和霏石。台灣南部地區溫泉沉澱物的分析結果顯示，玉穗、七坑、彩霞、轆轤等溫泉的沉澱物是方解石，金崙和栗松溫泉為霏石，而梅山、知本、近黃、金峰、都飛魯、碧山、摩刻南等溫泉，則是兩者皆具。

金屬硫化物也是溫泉水中可見的沉澱物，常發現於火山岩區的後火山活動中。台灣最有名的例子為大屯火山群北投地區的北投石，其是一種硫酸鉛鋇的礦物，因其含有少量的鐳元素，故具有放射性。另外，石膏（含水硫酸鈣）也是溫泉地區常見的沉澱物。

四、溫泉地球化學的意義

溫泉水的化學組成，除了提供研判溫泉的泉質和做為溫泉的分類外，還可用以推測地底

下溫泉的成因。

若一個地區的溫泉水，其氯離子的含量都小於 20~50 ppm，且硫酸根離子的濃度遠超過氯離子，則顯示在其地下可能蘊藏著乾蒸氣。因為一般地熱區的蒸氣含氯化物極微，所含氣體多以二氧化碳和硫化氫為主，所以當蒸氣凝結為溫泉水後，水中的氯離子含量必定很低，而硫化氫溶於水後易氧化成硫酸，造成以硫酸根離子為主，且遠大於氯離子的溫泉。

但若溫泉水中含有大量的氯離子，則表示地底下有地熱田存在。不過也有一些例外，因為在火山區域內（如大屯火山群的大油坑硫氣孔），有大量溫度超過 120°C 的蒸氣噴出，內含大量的氯化氫，蒸氣一經冷凝即在水中形成大量氯離子，而非來自地下熱水。

溫泉水中溴離子和氯離子 (Br/Cl) 的比值，可用以顯示溫泉是否來自沉積岩區。因為沉積岩區溫泉水中溴離子和氯離子的比值約在 0.0001 與 0.01 之間，而非沉積岩區的比值則都在 0.01 以下。因此，假如溫泉的溴離子和氯離子比值超過 0.001，則可確定其必然來自沉積岩區。

台灣溫泉水在變質岩區和非變質岩區的溴離子和氯離子比值有明顯差距，變質岩區的比值約在 0.23 與 16 之間，且絕大多數在 0.3 以上，而非變質岩區則都在 0.2 以下，且大多在 0.1 以下。因此從溴離子和氯離子的比值，也可以用來判斷溫泉水是否來自變質岩區。

溫泉水中的鈣離子 (Ca^{2+}) 和鎂離子 (Mg^{2+}) 含量會受碳酸鹽和硫酸鹽溶解度的控制。而在中性或弱鹼性的溫泉水中，碳酸鹽和硫酸鹽溶解度會隨溫度的增高而減低、隨溫度的降低而升高；酸性溫泉水則比中性和弱鹼性有較高的溶解度，所以在溫泉水中測量到高的鈣離子和鎂離子濃度，顯示此溫泉水是來自酸性的環境。——台灣的溫泉中，變質岩區的溫泉水大都呈中性或弱鹼性，故此兩種陽離子的濃度都甚低。

測量溫泉水中碳酸 (H_2CO_3)、碳酸根離子 (CO_3^{2-}) 和碳酸氫根離子 (HCO_3^-) 之相對濃度，可以推知溫泉水的酸鹼度 (pH)。假如溫泉水含碳酸為主，則其酸鹼度在 4 以下；如果以碳酸根離子為主，則酸鹼度在 10 以上；而若以碳酸氫根離子為主，則酸鹼度介於 4 和 10 之間。

溫泉水中的鋁離子 (Al^{3+}) 和鐵離子 (Fe^{2+}) 濃度，也可推測溫泉水的酸鹼度。因為這兩種陽離子，在酸性環境的溶解度高於中性和鹼性環境的溶解度，所以當溫泉水中鋁離子和鐵離子的濃度高時，其酸鹼度應在 4 以下。反之，若溫泉水中未測出這兩種陽離子時，表示此溫泉水的酸鹼度應在 4 以上。

五、溫泉的地下溫度推斷

泡過溫泉的人都知曉，不是每一處溫泉的溫度都一樣。有些溫泉上湧到地表時，幾乎是沸騰的溫度，約 100°C ，若不加冷水，根本無法泡湯，例如大屯火山群的硫磺谷溫泉；但有些溫泉的地表溫度卻只比人的體溫稍高，如宜蘭員山溫泉，甚至更低為冷泉，如宜蘭蘇澳冷泉。

溫泉到達地表的溫度高低，主要受控於地底下熱水的溫度；而地下熱水的溫度，又與當地的熱流量及水循環的深度有關。所以，藉由溫泉研究地下熱水的溫度，可了解當地的熱流量和水循環的深度，更進一步推斷當地的地溫梯度和地熱的蘊藏量。

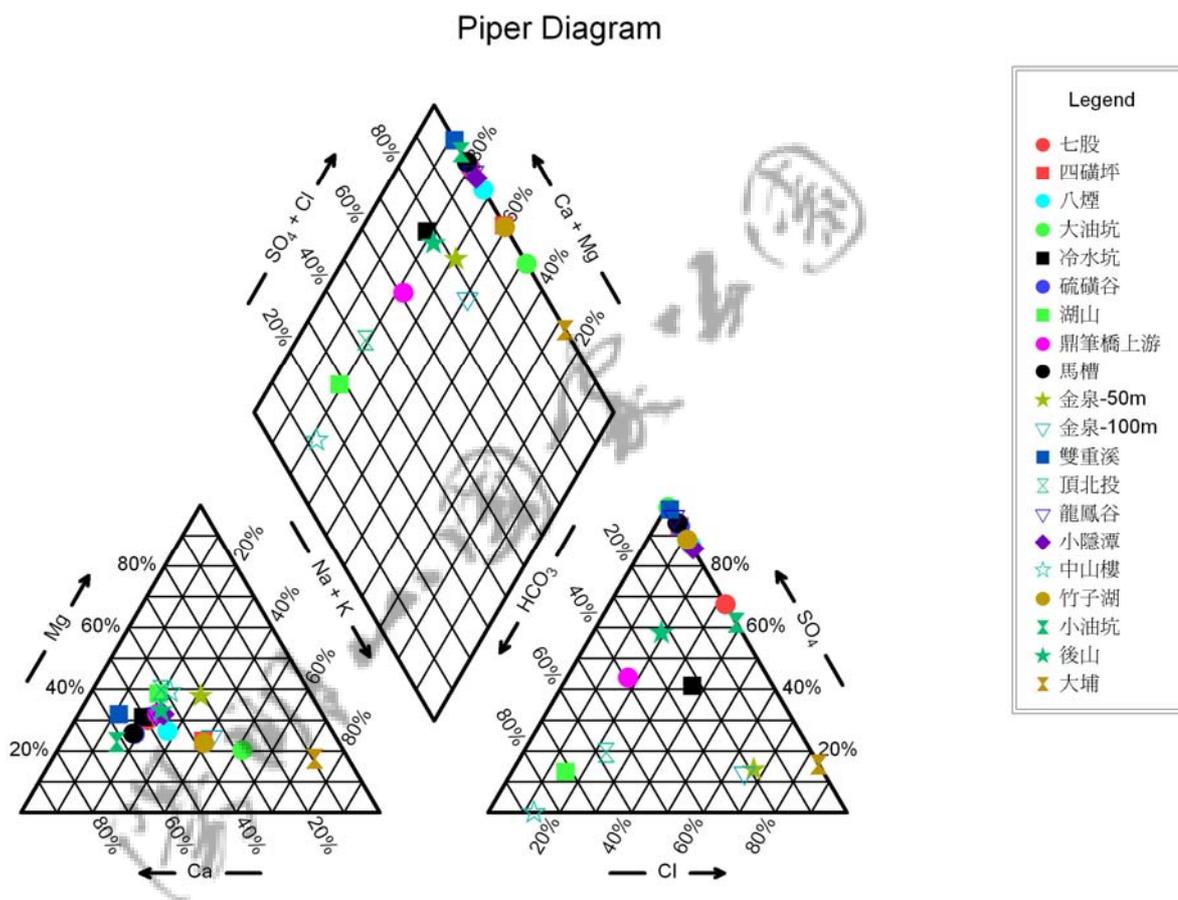
量測地溫梯度最可信的方法，是鑽取深井直接測量不同深度的溫度及熱流量。但此種方法的探勘費用相當龐大，尤其大面積的量測，所需經費有如天文數字，所以全台灣至今還未有此種方法量測的地溫梯度和熱流量數據，只有零星點的測量。

而替代方法就是測量溫泉水的化學組成，利用各種地質溫度計，如二氧化矽、鈉—鉀—鈣等，藉由其化學平衡關係，推算出存在於地底下熱水的溫度，並進一步推估其地溫梯度。其中，以二氧化矽地質溫度計的方法最被廣泛利用，其不僅可快速獲得地下熱水的溫度，還可計算當地熱流量及地溫梯度。

第二節 陽明山國家公園內溫泉的主要成分

陽明山國家公園內各溫泉出露點的主要元素含量如表四，並把各溫泉的化學特性投影在陰、陽離子的Piper圖上(圖二十一)。以下為各溫泉的主要化學特徵：

圖二十一：陽明山國家公園內溫泉中之陰、陽離子濃度投影在 Piper 圖上。



1、硫磺谷(大磺嘴)溫泉

硫磺谷溫泉為自來水公司引地表水注入噴氣口上方，用人工圍成的水池加熱而成的（人工溫泉）。泉溫 50~97℃、呈沸騰狀，pH 為 3~4，水質呈黃白色半透明，有硫磺味，成分以硫酸根離子（ SO_4^{2-} ）（~1000 ppm）為主，為酸性硫酸鹽泉。

2、行義路溫泉

本區之溫泉露頭甚多。泉溫為 56~85℃ 不等，pH 為 1~2 左右，水質呈黃白色半透明，

有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~ 1300 ppm) 成分居多，為酸性硫酸鹽泉。

3、龍鳳谷溫泉

龍鳳谷溫泉係由岩隙湧出，泉溫 $56\sim 80^\circ\text{C}$ ，pH 為 $2\sim 3$ 。水質呈黃白色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~ 430 ppm) 成分為最多，但含量較硫磺谷和雙重溪溫泉少，約為他們的一半。為酸性硫酸鹽泉。

4、雙重溪溫泉

雙重溪溫泉係由岩隙湧出，泉溫 $42\sim 65^\circ\text{C}$ ，pH 為 $2\sim 3$ 。水質呈黃白色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~ 1870 ppm) 成分為最多，為酸性硫酸鹽泉。

5、頂北投溫泉 (包括竹子腳池、自強池、媽祖池、鳳凰谷)

本溫泉係由岩隙湧出，泉溫 $45\sim 60^\circ\text{C}$ ，pH 為 $6\sim 8$ 。水質無色透明、無臭味，主要以碳酸氫根離子 (HCO_3^-) (~ 460 ppm) 成分居多，為中性碳酸鹽泉。池底有赤色鐵質沉澱物，故亦稱「鐵泉」。

6、鼎筆橋溫泉

溫泉係由岩隙湧出，泉溫 $45\sim 60^\circ\text{C}$ ，pH 為 $6\sim 8$ 。水質無色透明，無臭味，主要以碳酸氫根離子 (HCO_3^-) (~ 500 ppm) 成分居多，為中性碳酸鹽泉。

7、湖山溫泉

溫泉係由岩隙湧出，泉溫 $45\sim 60^\circ\text{C}$ ，pH 為 $6\sim 8$ 。水質呈無色透明，無臭味，主要以碳酸氫根離子 (HCO_3^-) (~ 680 ppm) 成分居多，為中性碳酸鹽泉。

8、小隱潭溫泉

溫泉係由岩隙湧出，泉溫 $45\sim 60^\circ\text{C}$ ，pH 為 $2\sim 4$ 。水質呈黃白色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~ 560 ppm) 成分最多，但含量較硫磺谷和雙重溪溫泉少，約一半左右，為酸性硫酸鹽泉。

9、陽明路溫泉

溫泉係由岩隙湧出，泉溫約 59°C，pH 為 2~4。水質呈黃白色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~920 ppm) 和氯離子 (Cl^-) (~560 ppm) 成分最多，為酸性硫酸鹽氯化物泉。

10、中山樓溫泉

本區之溫泉露頭甚多。泉溫為 45~65°C 不等，pH 為 2~4 左右，水質呈黃白色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~280 ppm) 成分居多，但離子含量較低，為酸性硫酸鹽泉。

11、陽明山溫泉

本區之溫泉露頭甚多。泉溫約 50-60°C，pH 為 2~4。水質呈黃白色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~700-1500 ppm) 成分最多，為酸性硫酸鹽泉。

12、竹子湖溫泉

本泉為地表水滲入噴氣孔加熱湧出，泉溫 70°C 以上，pH 為 2~4，呈強酸性，水質呈黃白色半透明，有硫磺味。主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~550 ppm) 成分居多，為酸性硫酸鹽泉。

13、胡宗南墓溫泉

本泉為地表水滲入噴氣孔加熱湧出，泉溫 40°C 左右，pH 約 6.0，呈中性，水質透明。主要以碳酸氫根離子 (HCO_3^-) (~180 ppm) 成分居多，為中性碳酸鹽泉。

14、冷水坑溫泉

阿公婆店後方溫泉六~八月水量較少，泉溫 43°C，為弱酸性硫酸鹽，pH 為 5.5~6.2，水質無色透明，池底及水道有赤色鐵質沉澱物。士林觀光菜園泉溫 60~80°C，為中性碳酸鹽硫酸鹽泉，pH 值 6.5，水質呈黃色透明，略帶硫磺味。溫泉成分主要是硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~160 ppm) 和碳酸氫根離子 (HCO_3^-) (~140 ppm) 等。

表四：陽明山國家公園內各溫泉之水質和水化學組成。

	名稱	T (°C)	pH	C ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Fe ⁺²	Al ⁺³	Si ⁺⁴	附註
1	硫磺谷	50-97	2.7	2200	1220	1.17	28.8	500	bdl	7.44	4.88	4.80	21.0	13.0	68.0	103	
2	行義路	56-85	1-2	721	650	1.04	30.6	635	bdl	8.55	6.23	3.87	26.3	12.4	65.3	115	
3	龍鳳谷	56-80	2-3	638	627	bdl	32.6	427	bdl	17.5	4.60	24.3	53.6	8.38	11.3	64.7	
4	雙重溪	42-65	6.0	505	2355	0.97	45.3	158	bdl	22.1	6.31	18.1	42.7	bdl	bdl	36.6	
5	頂北投	45-60	6-8	1463	1145	bdl	109	123	456	67.5	21.3	87.7	150	2.54	4.68	122	
6	鼎筆橋	45-60	6-8	1301	1307	bdl	77.0	292	498	57.2	11.1	59.7	136	5.70	16.4	154	
7	湖山	45-60	6-8	1763	1336	bdl	111	143	673	33.6	8.93	91.1	111	3.57	17.2	144	
8	小隱潭	45-60	2-4	1176	918	bdl	68.8	561	bdl	34.7	5.71	27.1	62.2	3.84	21.7	133	
9	陽明路	50-65	2-4	2390	1374	2.11	558	919	bdl	91.4	35.1	70.5	211	69.4	87.3	137	
10	中山樓	45-65	2-4	1129	497	bdl	24.1	278	bdl	13.0	5.27	15.2	24.8	3.65	22.1	111	
11	陽明山	50-60	2-4	1764	1021	bdl	159	521	bdl	43.3	8.55	27.7	81.1	10.7	44.6	126	
12	竹子湖	65-70	2-4	3170	916	bdl	51.4	586	bdl	45.7	13.8	16.2	44.6	17.2	24.6	117	
13	胡宗南墓	35-50	6-7	451	237	0.29	11.8	65.7	168	35.1	8.21	14.9	58.3	4.42	bdl	67.4	
14	冷水坑	35-45	5-7	790	519	bdl	14.5	157	139	16.6	5.09	12.6	29.3	0.40	0.41	144	
15	小油坑	65-99	2-4	4490	2256	bdl	462	1015	bdl	96.9	18.2	85.6	381	47.3	37.2	209	
16	後山	45-65	5-6	1805	1153	bdl	109	448	219	65.8	14.2	58.1	128	5.76	20.0	85.4	
17	馬槽	60-90	2-4	483	633	bdl	35.5	346	bdl	16.2	6.02	19.0	55.9	9.54	9.38	152	
18	七股	45-65	2-4	4680	2357	bdl	350	1508	bdl	31.4	12.1	36.7	109	47.0	104	159	
19	翠林橋	40-55	2-3	5350	2860	2.22	664	1017	bdl	44.5	24.4	46.4	104	28.0	2.92	47.9	
20	大油坑	65-98	1-2	1807	1076	bdl	53.4	225	bdl	14.8	1.50	2.30	7.10	4.00	1.50	9.80	
21	磺溪	55-70	2-3	2536		bdl	329	974	301	39.6	4.51	47.8	27.5	3.70	116.1	45.1	
22	下七股	45-52	6-7	2240	1333	3.38	49.3	1478	476	90.8	16.9	45.7	636	bdl	bdl	63.0	
23	八煙	60-85	2-3	2170	2665	bdl	15.5	344	bdl	78.9	47.9	48.4	86.8	55.3	73.2	188	
24	四磺坪	47-99	2-3	1291	357	bdl	10.2	184	bdl	6.47	1.79	4.27	13.5	4.56	5.67	134	
25	(火庚)子坪	40-68	1-2	1213	1770	bdl	36.2	1158	bdl	37.0	12.9	37.5	78.3	42.2	96.7	271	

15、小油坑溫泉

本溫泉為地表水注入噴氣孔加熱湧出，出水量 8 公噸／每小時。水質呈灰色半透明，有硫磺味。泉溫 65~99°C，pH 為 2~4，主要含硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~1000 ppm) 和氯離子 (Cl^-) (~460 ppm) 等成分，為酸性硫酸鹽氯化物泉。

16、後山溫泉

泉溫為 45~65°C，pH 為 5~6 左右，水質呈無色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~450 ppm)、碳酸氫根離子 (HCO_3^-) (~220 ppm) 和氯離子 (Cl^-) (~110 ppm) 成分居多，但離子含量較低，為弱酸性硫酸鹽泉。

17、馬槽溫泉

水質呈半透明，泉溫 60~90°C，pH 為 2~4，水量豐富、有硫磺味，味澀不可飲用。主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~350 ppm) 成分居多，但離子含量較低，為酸性硫酸鹽泉。

18、七股溫泉

泉溫為 45~65°C，pH 為 2~4 之間，水質清澈，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~1500 ppm) 和氯離子 (Cl^-) (~350 ppm) 成分居多，為酸性硫酸鹽氯化物泉。

19、翠林橋溫泉

溫泉係由岩隙湧出，泉溫約 40°C，pH 為 2~3。水質呈黃白色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~1020 ppm) 和氯離子 (Cl^-) (~660 ppm) 成分最多，為酸性硫酸鹽氯化物泉。

20、大油坑溫泉

水質呈灰白色半透明，有硫磺味，泉溫 65~98°C，pH 為 1~2，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~2300 ppm) 成分居多，為酸性硫酸鹽泉。

21、磺溪溫泉

溫泉係由岩隙湧出，泉溫約 60°C，pH 為 2~3。水質呈黃白色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~1050 ppm) 和氯離子 (Cl^-) (~3300 ppm) 成分最多，為酸性硫酸鹽氯化物泉。

22、下七股溫泉

溫泉係由岩隙湧出，泉溫為 45~52°C，pH 為 6~7 左右，水質呈無色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~1500 ppm) 和碳酸氫根離子 (HCO_3^-) (~480 ppm) 成分居多，為中性硫酸鹽碳酸氫泉。

23、八煙溫泉

泉溫為 60~85°C，pH 為 2~3 之間，水質成灰白色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~2000 ppm) 成分居多，為酸性硫酸鹽泉。

24、四磺坪溫泉

本溫泉係由地表水滲入噴氣孔加熱湧出，泉溫 47~99°C，pH 為 2~3，水質呈灰色半透明，有硫磺味，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~180 ppm) 成分居多，為酸性硫酸鹽泉。

25、(火庚)子坪溫泉

水質呈灰白色半透明，有硫磺味，泉溫 40~68°C，pH 為 1~2，主要以硫酸根離子 (SO_4^{2-}) (~1200 ppm) 成分居多，為酸性硫酸鹽泉。

第三節 陽明山國家公園內溫泉主要成分每月分析結果

1、陽明山國家公園內溫泉每月採集地點分布

本研究計畫針對陽明山國家公園內 9 個溫泉點: 硫磺谷、鼎筆橋、湖山、冷水坑、馬槽、七股、大油坑、八煙和四礮坪等九個溫泉，每月採取一個樣本，以監測陽明山國家公園內各溫泉系統的水質和水化學隨季節(主要為乾季和雨季)的變化，以探討影響溫泉形成的因素。這九處的溫泉分布如圖二十二。量測的項目是在自然湧出的溫泉露頭，利用攜帶式量測溫度、電導度、pH 值和 TDS 的儀器，量測溫泉水的溫度、電導度、pH 值和 TDS 等，然後採取水樣攜回實驗室，利用離子層析儀分析溫泉水中的陰離子，利用感應耦合電漿分光儀量測溫泉水中的陽離子。

2、大屯火山區溫泉現地量測值

在自然湧出的溫泉露頭，利用攜帶式量測溫度、電導度、pH 值和 TDS 的儀器，量測溫泉水的溫度、電導度、pH 值和 TDS 等，每月量測一次，其結果如表五，且每月的變化如圖二十三至圖三十一。因監測的時間短數據有限，每月所量測的資料雖有變化，但很難據此推斷控制變化的可能因素，若有可能未來應該做長期的監測研究。

表五：陽明山國家公園內各溫泉現地量測溫度、電導度、pH 值和 TDS 值之結果

硫磺谷				
日期	溫度	導電度	PH	TDS
940124	46.9	246	5.37	154
940222	50.8	213	5.22	134
940314	53.2	225	5.50	142
940411	54.3	279	5.75	175
940526	57.0	220	5.75	136
940623	57.5	257	5.87	159
940726	50.5	240	5.70	150
940820	56.5	253	5.72	157
941026	57.8	228	5.60	132

鼎筆橋				
日期	溫度	導電度	PH	TDS
940124	48.3	1400	6.36	948
940222	46.2	1400	6.65	955
940314	47.8	1390	6.60	950
940411	48.1	1397	6.35	948
940526	48.1	1390	6.97	951
940623	48.6	1405	6.87	948
940726	48.9	1381	6.61	936
940820	45.4	1347	6.31	918
941026	48.4	1401	6.37	891

湖山				
日期	溫度	導電度	PH	TDS
940124	41.3	1584	6.20	1091
940222	42.5	1588	6.18	1098
940314	42.0	1574	6.14	1090
940411	41.9	1575	6.42	1092
940526	41.9	1573	6.39	1088
940623	42.5	1570	6.29	1086
940726	42.1	1570	6.30	1086
940820	42.7	1625	5.84	1125
941026	43.0	1601	6.10	1015

冷水坑				
日期	溫度	導電度	PH	TDS
940124	38.6	1647	5.66	1149
940222	42.5	1642	5.73	1145
940314	42.6	1646	6.09	142

940411	42.7	1648	6.03	1148
940526	42.3	1698	6.00	1150
940623	43.6	1640	5.88	1135
940726	43.1	1625	5.84	1125
940820	33.8	1695	6.43	1248
940926	43.0	1601	6.10	1015
941026	43.0	1601	6.10	1015

馬槽				
日期	溫度	導電度	PH	TDS
940124	44.4	444	6.22	291
940222	42.5	448	5.38	292
940314	41.5	437	5.36	286
940411	45.9	458	5.99	299
940526	43.3	450	5.84	293
940623	61.7	496	5.98	317
940726	67.2	473	5.94	300
940820	60.6	488	5.63	307
940926	51.0	536	6.14	345
941026	55.5	540	5.04	326

七股				
日期	溫度	導電度	PH	TDS
940124	38.5	990	3.20	669
940222	35.5	969	2.77	643
940314	44.4	4042	1.68	3026
940411	42.8	2389	2.75	1712
940526	41.8	3798	2.40	2844
940623	42.8	3762	2.43	2808
940726	43.1	3787	2.35	2817
940820	43.5	3841	2.09	2860
940926	40.0	3922	2.35	2949
941026	43.0	3960	2.15	2733

大油坑				
日期	溫度	導電度	PH	TDS
940124				
940222	69.8	8.68	1.30	6.69
940314	76.0	13.22	1.03	10.79
940411	74.6	13.24	1.74	10.59
940526	80.4	8.05	1.95	6.17
940623	80.0	15.03	1.71	12.90

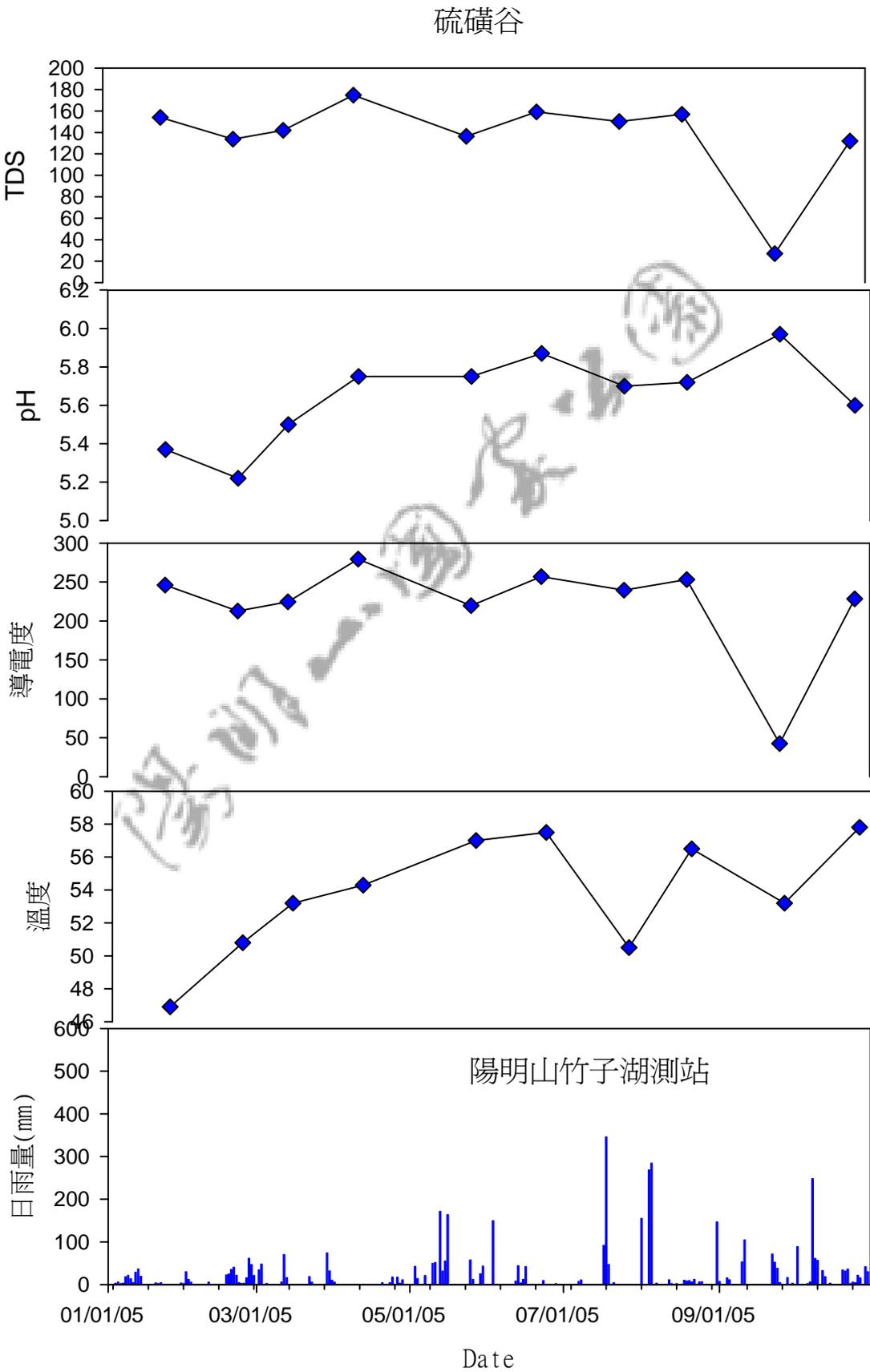
陽明山溫泉、地熱資源與利用調查

940726	77.5	16.40	1.72	13.83
940820	76.1	16.50	1.53	13.80
940926	63.0	13.82	1.77	11.58
941026	61.4	9.51	1.83	6.68

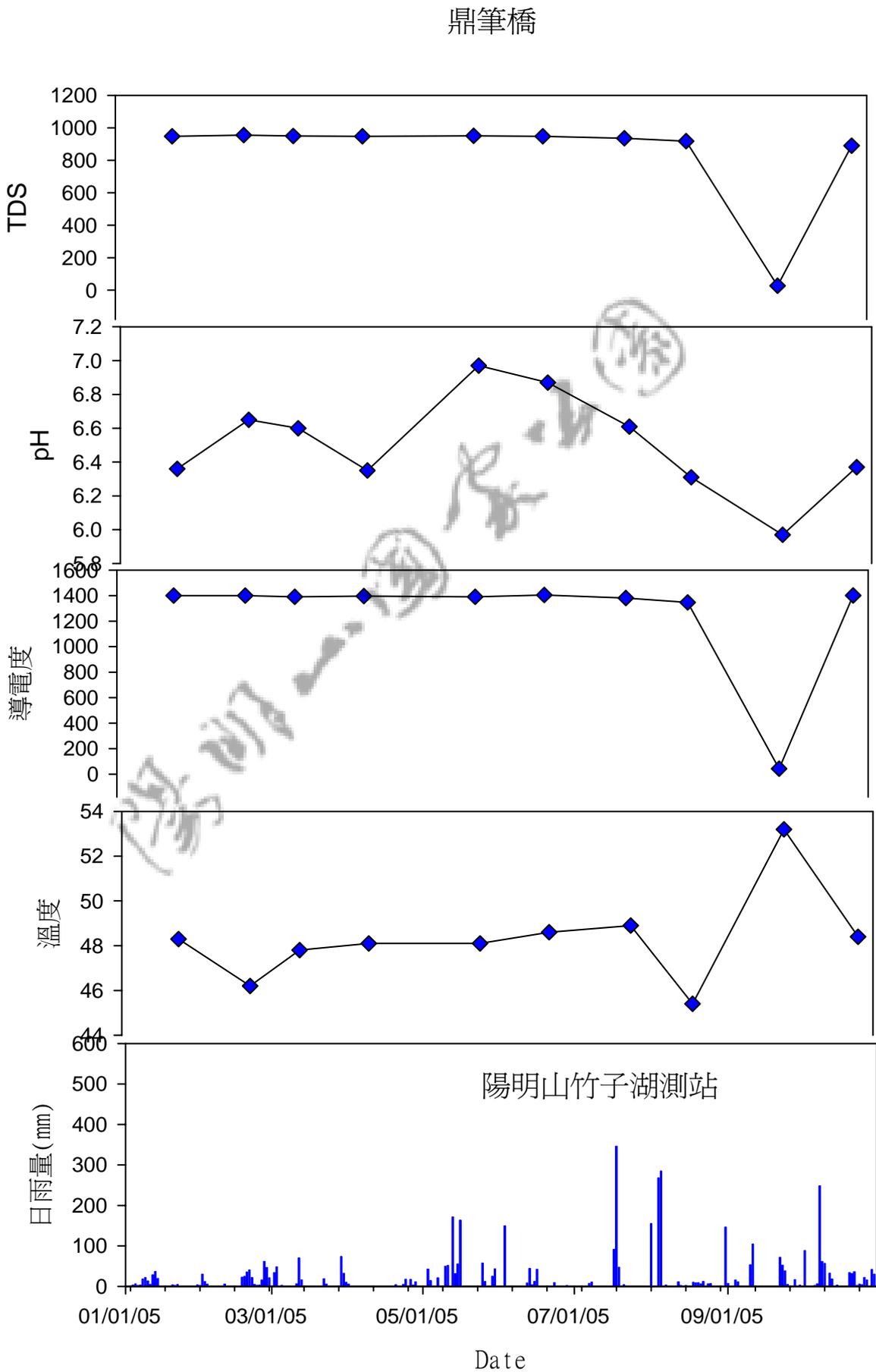
八煙				
日期	溫度	導電度	PH	TDS
940124	79.4	1297	2.58	824
940222	70.2	1157	2.20	782
940314	77.0	1144	2.37	733
940411	83.0	1270	2.59	832
940526	69.4	3363	2.24	2414
940623	78.9	2057	2.47	1389
940726	79.6	1945	2.54	1353
940820	79.2	2733	2.26	1905
940926	78.3	1907	2.48	1336
941026	63.7	1971	2.44	1371

四磺坪				
日期	溫度	導電度	PH	TDS
940124	54.6	266	3.12	1674
940222	55.8	376	2.77	237
940314	57.9	289	2.88	177
940411	84.1	435	3.17	271
940526	85.1	1039	2.82	671
940623	61.5	330	2.97	207
940726	83.7	431	3.1	275
940820	78.4	418	3.1	266
940926	53.2	389	3.25	250
941026	49.8	555	3.11	335

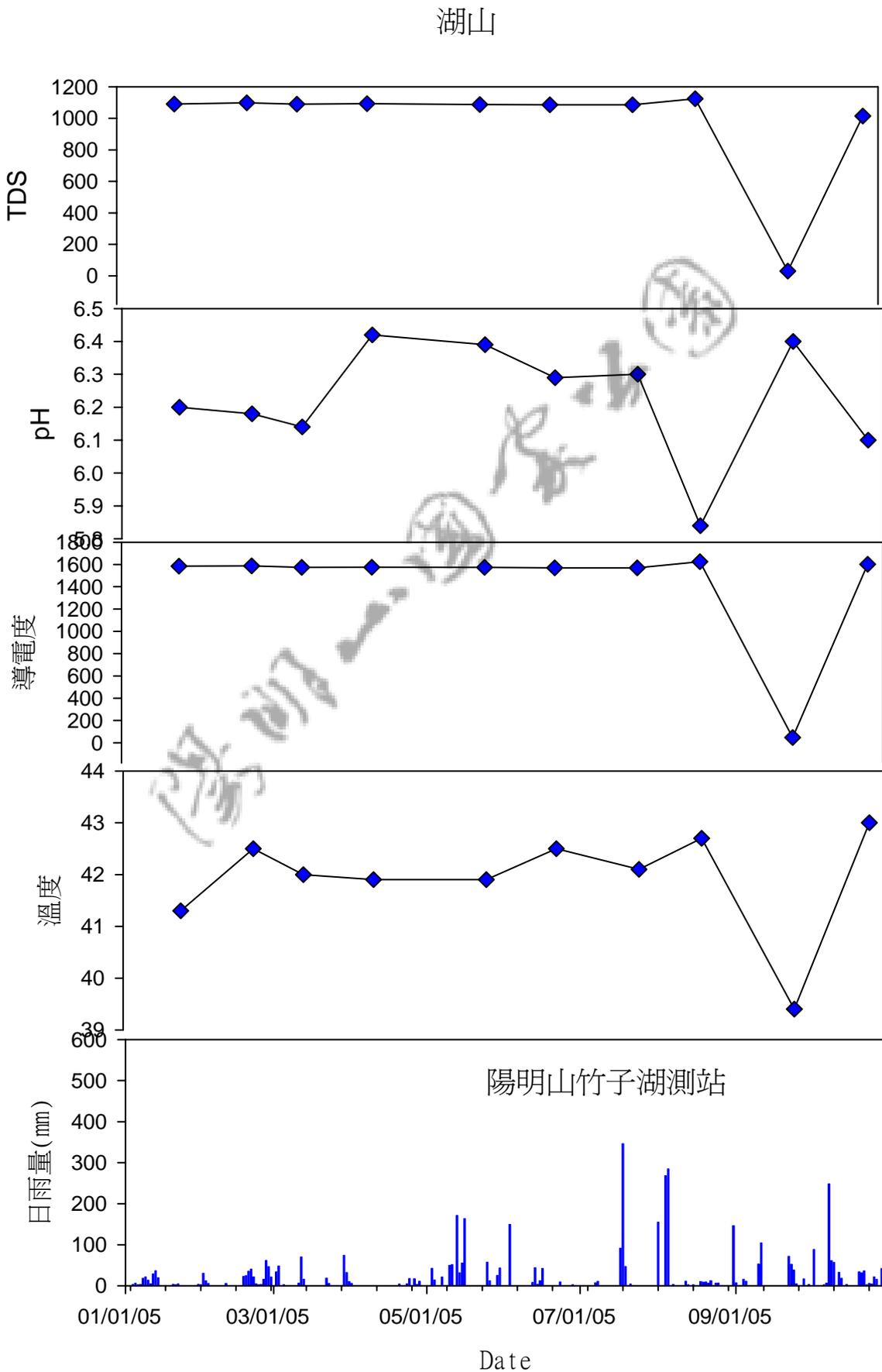
圖二十三：硫磺谷溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖。



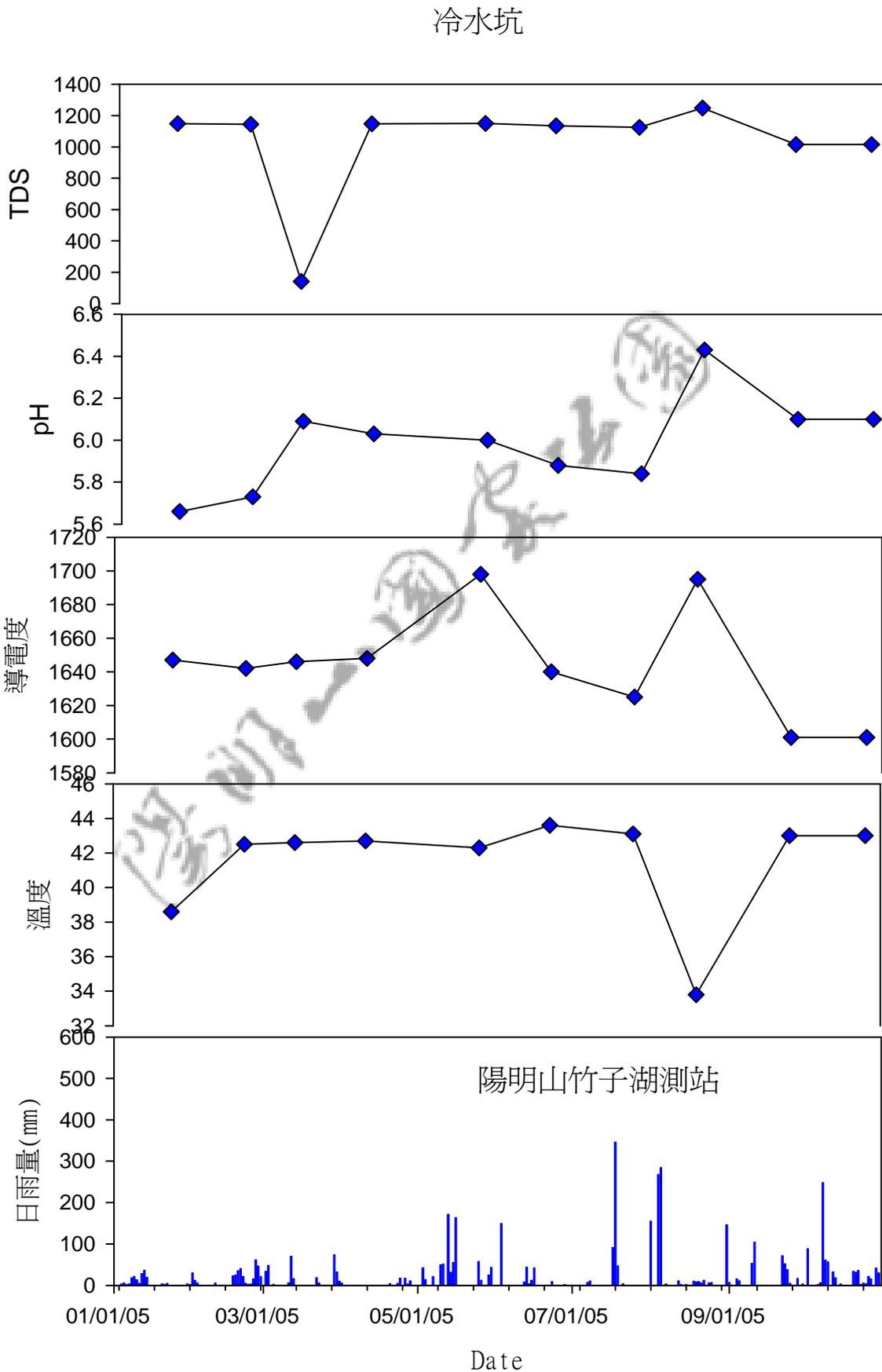
圖二十四：鼎筆橋上游溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖。



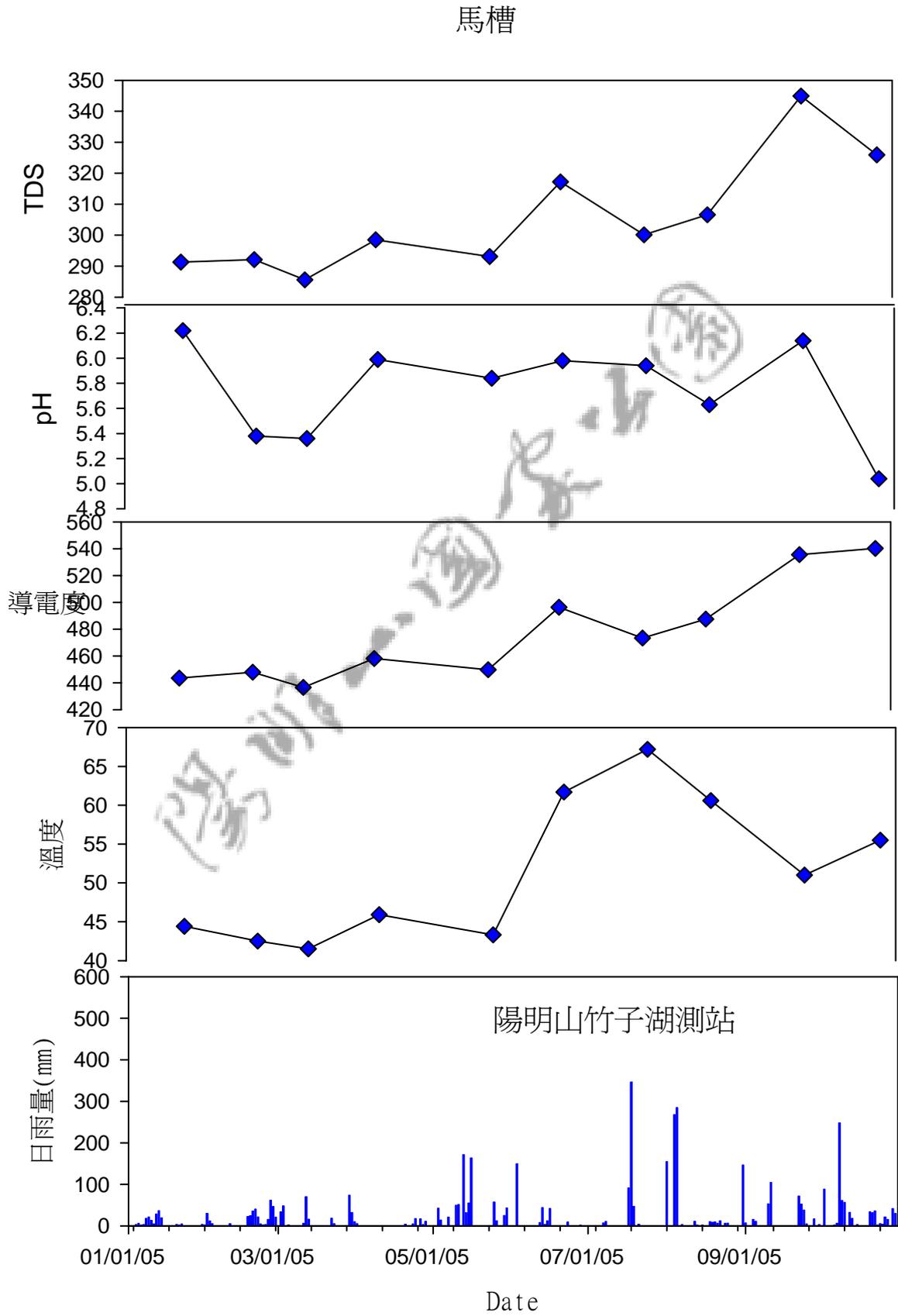
圖二十五：湖山溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖。



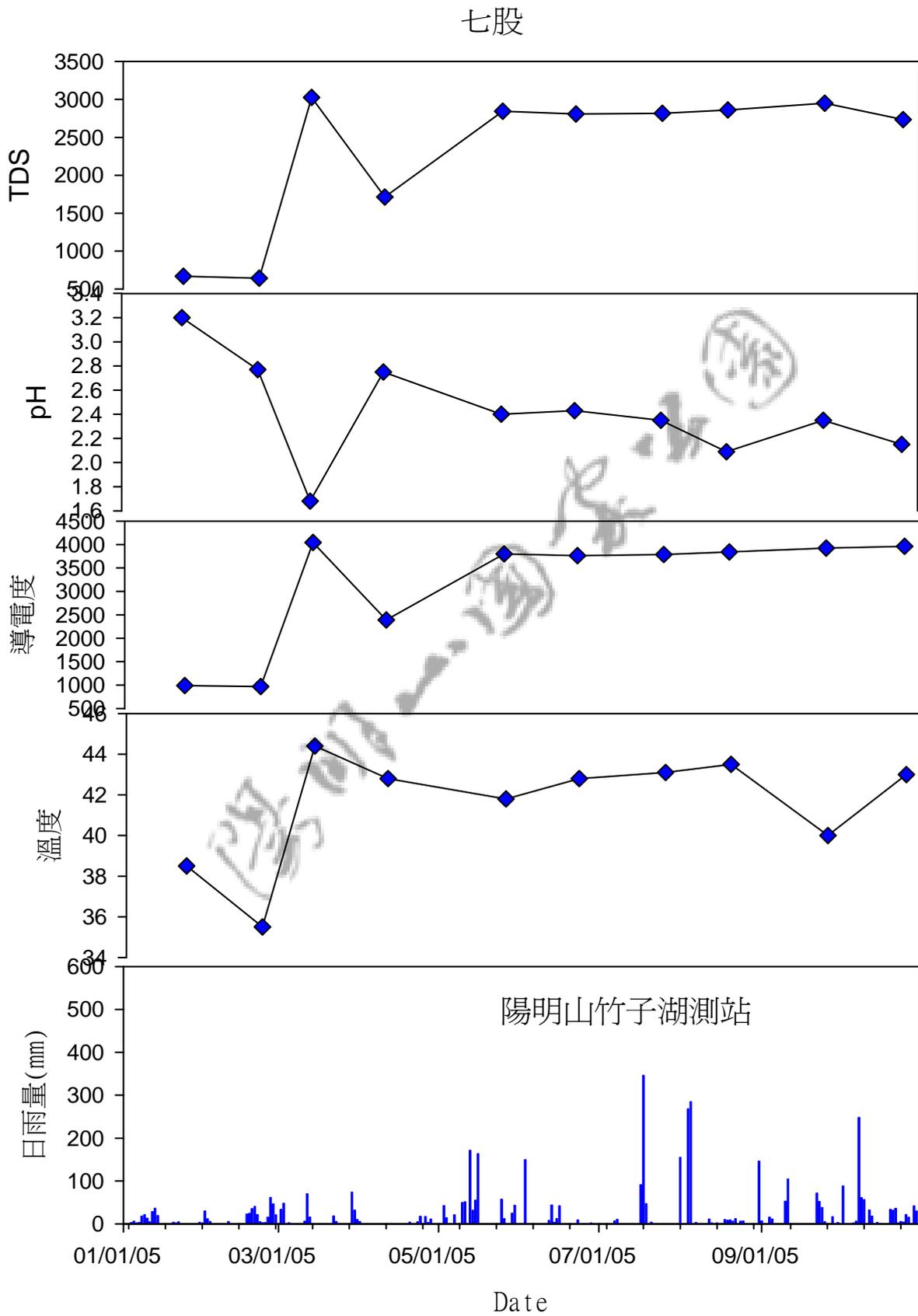
圖二十六：冷水坑溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖。



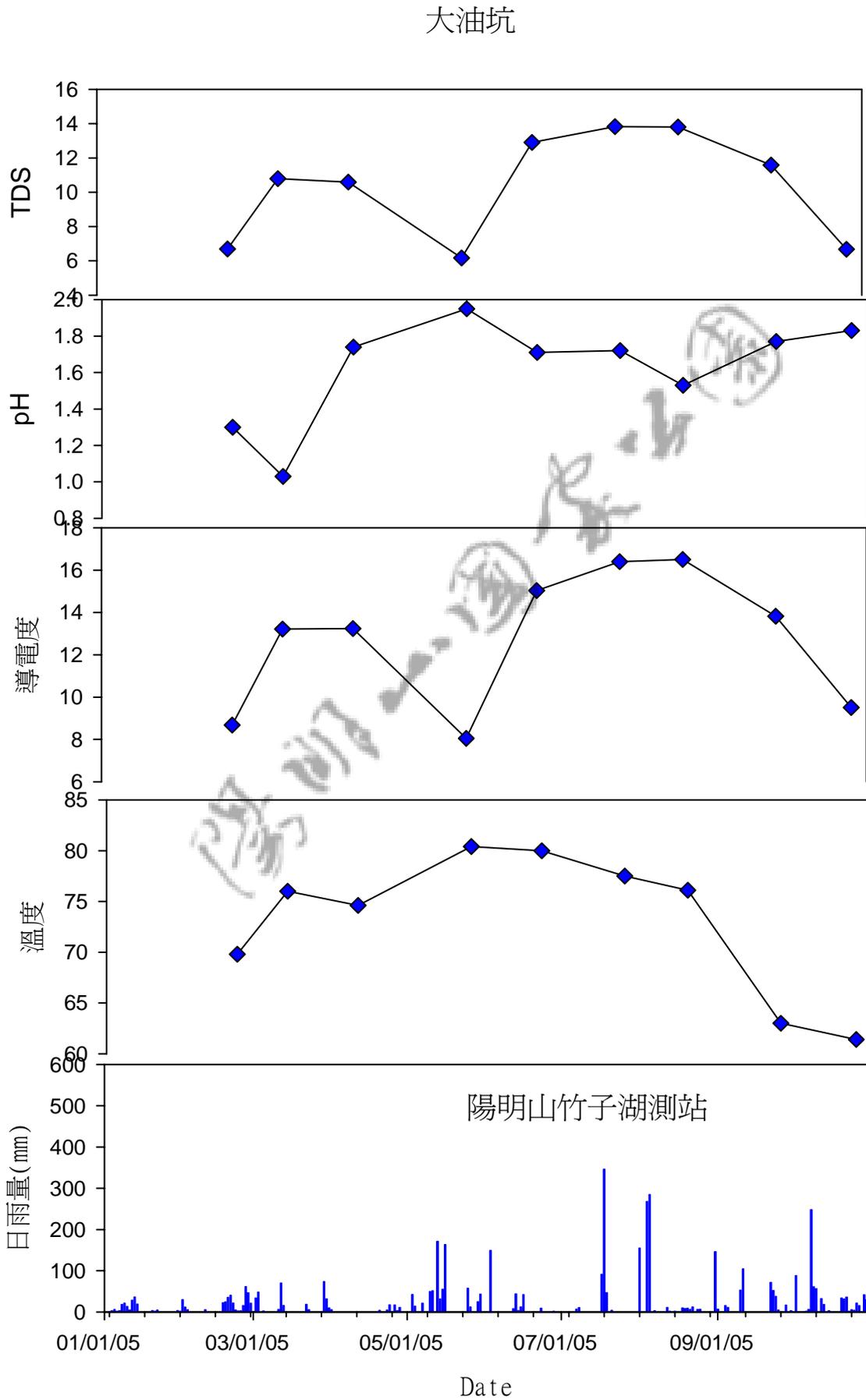
圖二十七：馬槽溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖。



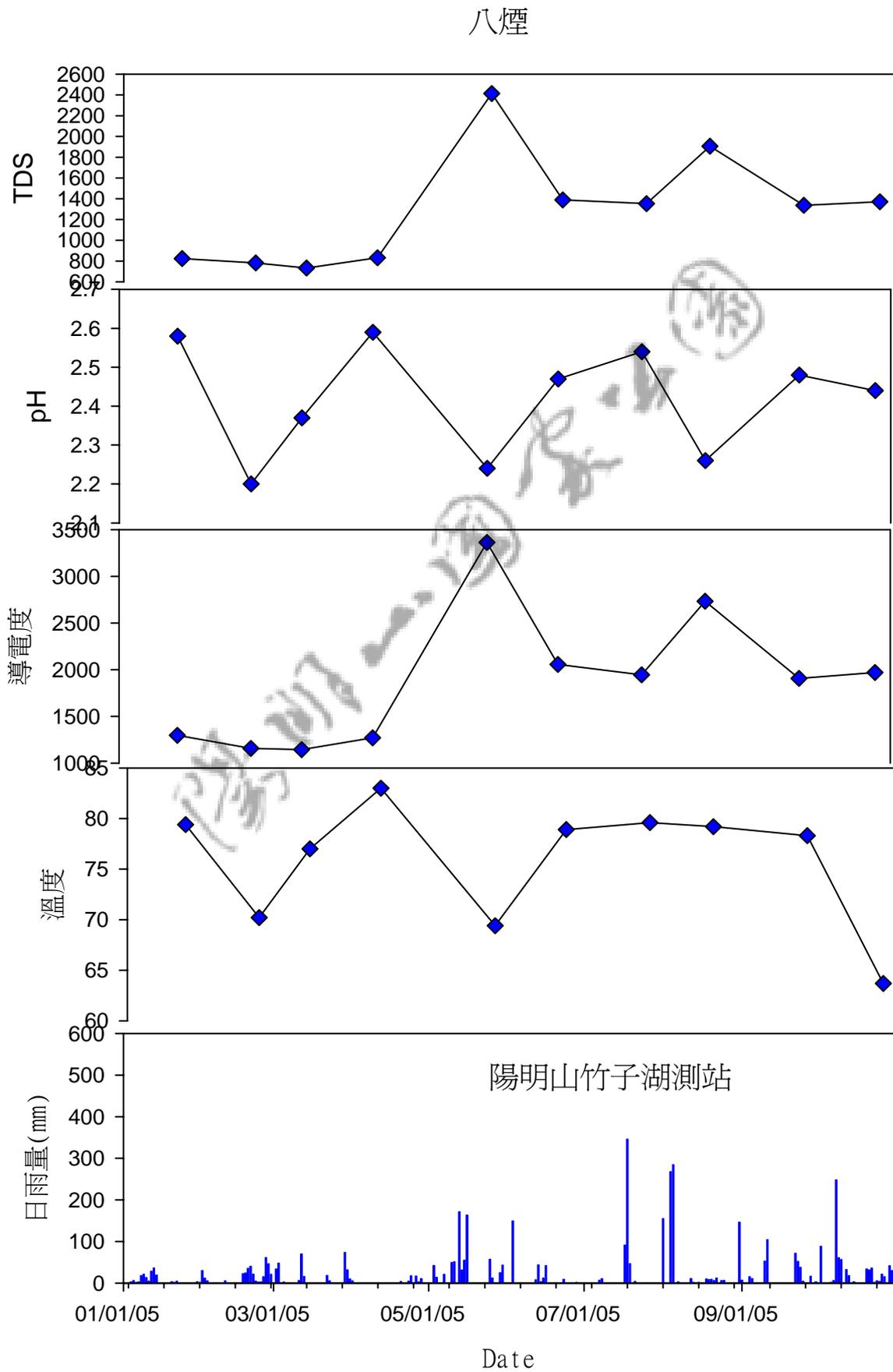
圖二十八：七股溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖。



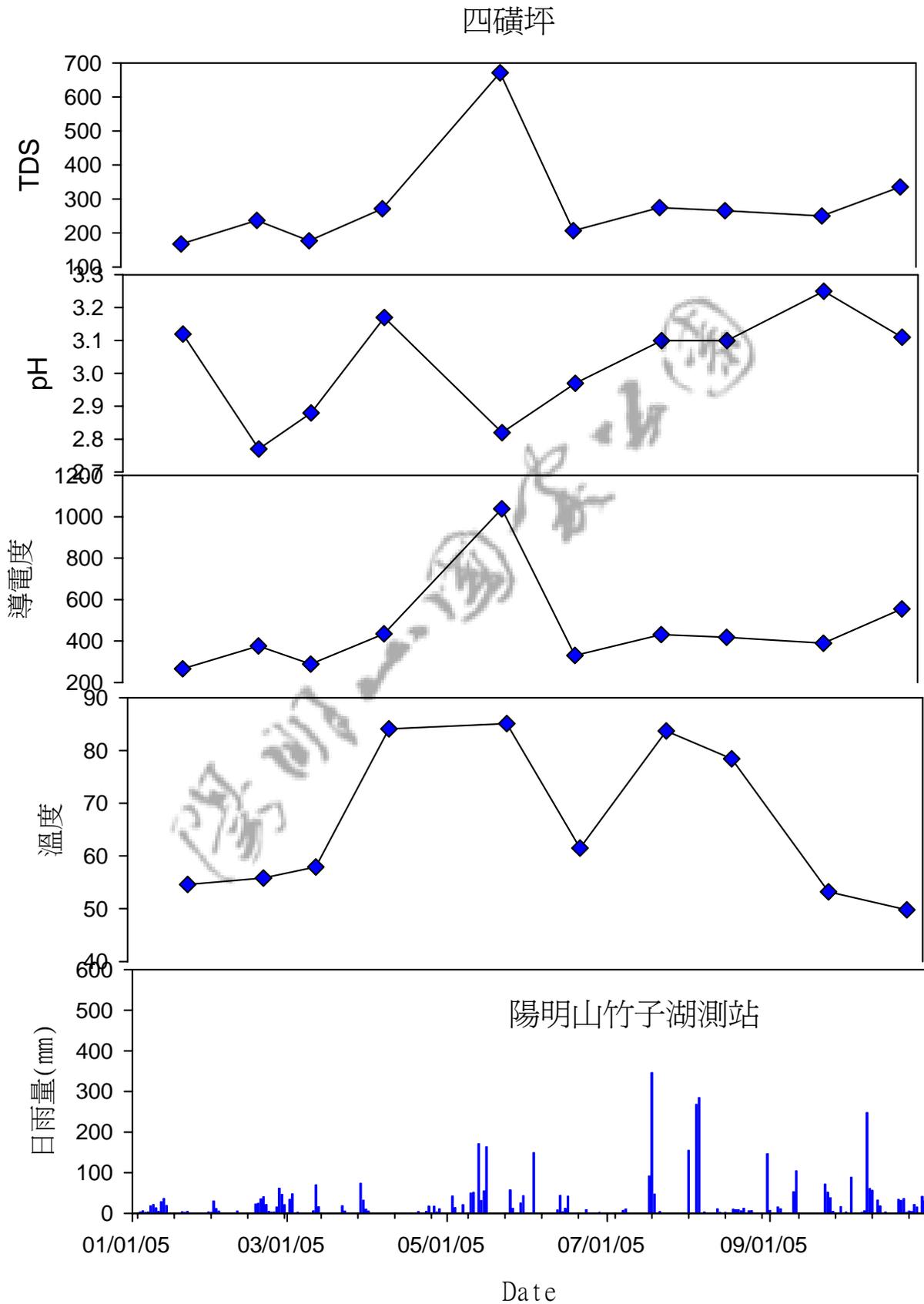
圖二十九：大油坑溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖。



圖三十：八煙溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖。



圖三十一：四磺坪溫泉 TDS、pH、導電度、溫度和日雨量，2005 年變化趨勢圖。



3、大屯火山區溫泉離子成分量測值

每月採獲的水樣攜回實驗室後，對其水體中的鈉離子(Na^+)、鉀離子(K^+)、鎂離子(Mg^{+2})、鈣離子(Ca^{+2})、鐵離子(Fe^{+2})、錳離子(Mn^{+2})、鋁離子(Al^{+3})和矽離子(Si^{+4})等陽離子，以及氟離子(F^-)、氯(Cl^-)、溴離子(Br^-)、硝酸離子(NO_3^-)、硫酸離子(SO_4^{2-})、磷酸根離子(PO_4^{3-})等陰離子，進行分析實驗。陽離子用感應耦合電漿—原子發射光譜儀(ICP-AES)分析，而陰離子則用離子層析儀(IC)分析。至於碳酸根離子(HCO_3^-)則是利用酸鹼滴定法測量之。

採用感應耦合電漿—原子發射光譜儀和離子層析儀的原因，是此二儀器的分析速度快，且其偵測極限低又精準度高，能達到偵測本地區水體中的濃度要求、濃度變化範圍、以及需分析樣本多的要求。

本研究溫泉離子成分分析之品質管制(QC)和樣品分析的考慮因素，包括有：

- 1、 試劑空白：本研究所採取的水樣裝置於塑膠瓶內，然後攜回實驗室進行分析工作。用同樣的方法和步驟所配制的試劑空白，從以前的分析結果顯示，都在儀器的偵測極限之下。
- 2、 查核樣本：再採樣分析過程中，分析一批樣本，都放置 2~3 個已知濃度的樣本進行分析，分析結果都在誤差範圍內。
- 3、 重複樣本：採集水樣時，隨機在同一個地點採集兩個樣本，並攜回實驗室在不同的時間進行分析，分析結果也都在誤差範圍內。

溫泉的陰、陽離子分析結果列於表六和表七，且每月的變化如圖三十二至圖四十九。因監測的時間短數據有限，每月所量測的資料雖有變化，但很難據此推斷控制變化的可能因素，若有可能未來應該做長期的監測研究。

表六：陽明山國家公園內各溫泉之陰離子分析結果

硫磺谷							
日期	F^-	Cl^-	Br^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	HCO_3^-
940124	0.10	19.1	0.43	3.16	--	116	--
940222	0.11	16.4	0.43	5.52	--	56.6	--
940315	--	18.3	0.25	2.96	--	93.0	--
940412	--	20.8	0.29	1.28	--	150	--
940526	--	17.7	0.28	2.02	--	62.4	--
940623	--	17.9	0.22	2.84	--	148	--
940725	0.22	17.9	0.58	0.77	--	87.5	--
940820	--	18.9	0.48	0.65	--	88.2	--

940923	0.07	14.0	--	4.94	--	50.4	--
941026	--	17.5	0.33	6.30	--	58.1	--

鼎筆橋

日期	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
940124	0.11	74.6	--	--	--	253	296
940222	--	70.6	--	--	--	251	339
940315	--	71.8	--	--	--	251	404
940412	--	153	--	--	--	245	299
940526	--	83.2	0.24	--	--	256	436
940624	--	71.6	0.29	0.80	--	244	129
940725	0.29	71.4	0.63	0.73	--	277	425
940820	--	71.6	0.29	0.80	--	244	410
940923	--	106	1.90	0.57	--	340	448
941026	--	78.2	1.82	0.58	--	285	454

湖山

日期	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
940124	--	70.9	0.41	--	--	84.8	795
940222	--	80.2	0.24	--	--	91.4	790
940315	--	173	0.30	0.76	--	85.2	669
940412	--	178	0.35	0.72	--	84.1	703
940526	--	162	0.34	0.72	--	84.3	796
940624	--	85.3	0.21	0.89	--	96.5	711
940725	--	80.7	0.58	0.70	--	99.1	578
940820	--	114	0.43	0.87	--	122	830
940923	--	88.0	0.23	0.67	--	90.0	817
941026	--	93.2	6.52	0.63	--	90.2	812

冷水坑

日期	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
940124	--	285	--	--	--	460	--
940222	--	106	--	--	--	212	241
940315	--	126	0.39	--	--	196	239
940412	--	185	0.31	0.71	--	291	166
940526	--	186	--	0.72	--	294	246
940624	--	182	--	--	--	291	238
940725	--	21.8	0.37	--	--	120	200
940820	--	192	0.34	--	--	300	264
940923	0.06	181	0.15	--	--	273	297
941026	--	209	0.45	--	--	330	298

陽明山溫泉、地熱資源與利用調查

馬槽							
日期	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
940124	--	9.14	--	--	--	216	--
940222	--	9.27	--	--	--	208	--
940315	--	8.60	--	--	--	159	--
940412	--	9.20	--	--	--	143	43.3
940526	--	8.48	1.20	--	--	109	--
940624	--	8.15	--	--	--	162	43.3
940725	0.22	8.37	--	0.69	--	155	--
940820	--	12.5	--	4.24	--	226	--
940923	0.07	9.31	--	--	--	144	39.5
941026	--	8.61	0.86	--	--	96.2	196

七股							
日期	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
940124	1.00	361	--	--	0.57	779	--
940222	16.39	3101	--	--	--	651	--
940315	--	365	--	--	--	1055	--
940412	--	173	--	--	--	741	--
940526	--	331	--	--	--	890	--
940624	--	327	2.78	0.82	--	880	--
940725	2.49	372	6.30	--	--	882	--
940820	2.16	561	8.76	--	--	1229	--
940923	2.30	283	9.85	--	--	940	--
941026	1.05	375	7.33	--	--	878	--

大油坑							
日期	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
940124	--	83.5	16.30	--	--	3806	--
940222	--	267	--	--	--	5919	--
940315	--	228	34.60	--	--	5747	--
940412	--	126	33.80	--	--	788	--
940526	--	46.3	--	--	--	3337	--
940624	--	466	--	--	--	3972	--
940725	--	251	20.18	--	--	767	--
940820	--	114	42.05	--	--	4041	--
940923	--	279	14.58	--	--	544	--
941026	--	216	13.62	--	--	2882	--

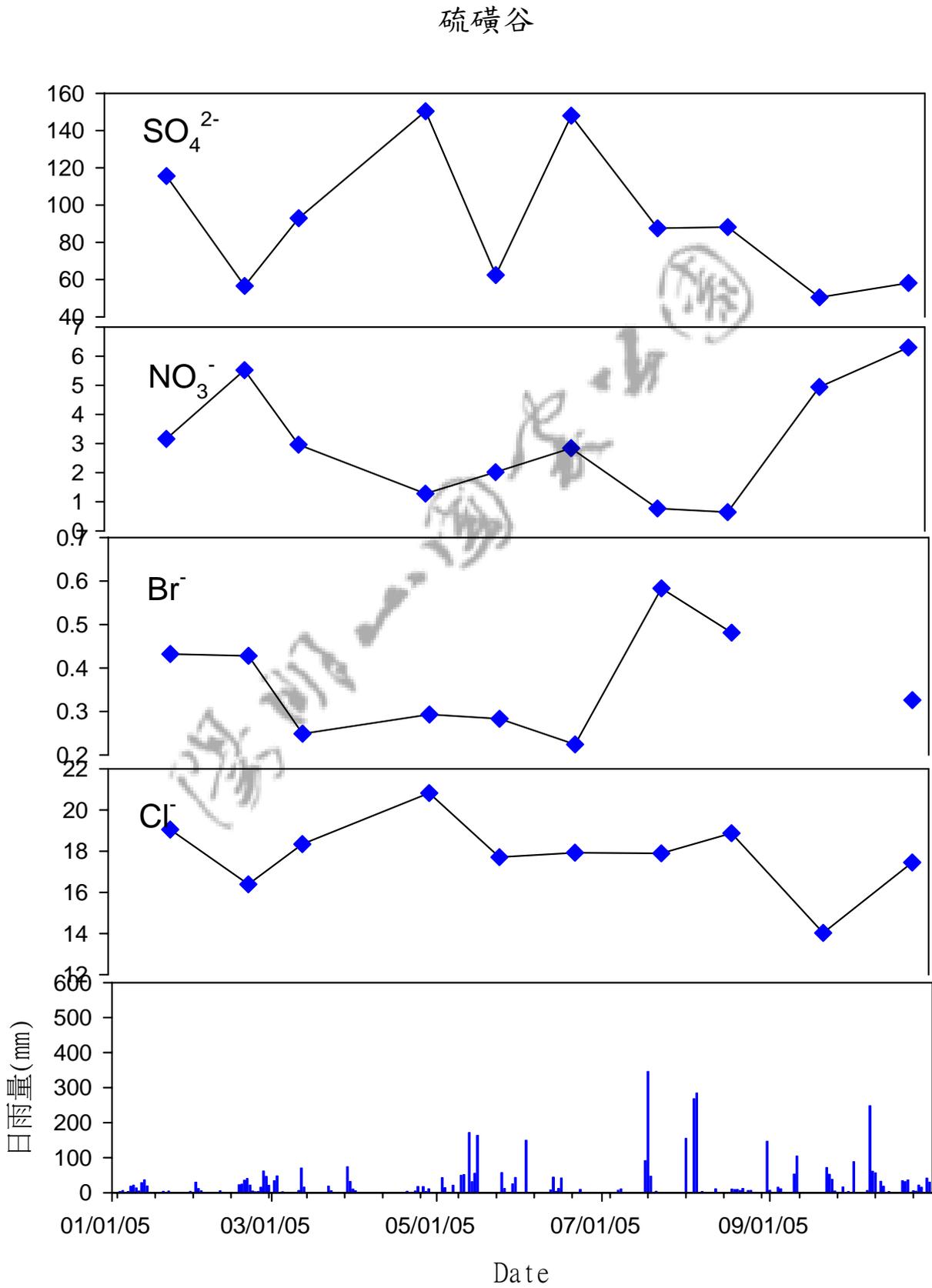
八煙							
日期	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
940124	--	96.10	--	0.74	--	564	--

940222	--	60.80	5.42	--	--	720	--
940315	--	58.10	--	0.71	--	374	--
940412	--	90.94	1.29	0.68	--	404	--
940526	--	14.18	1.65	0.85	0.64	1236	--
940624	--	48.06	1.90	--	--	558	--
940725	0.22	22.81	2.37	0.69	--	634	--
940820	--	56.75	6.80	--	--	1006	--
940926	--	72.75	3.62	--	--	641	--
941026	--	28.30	5.18	0.66	--	694	--

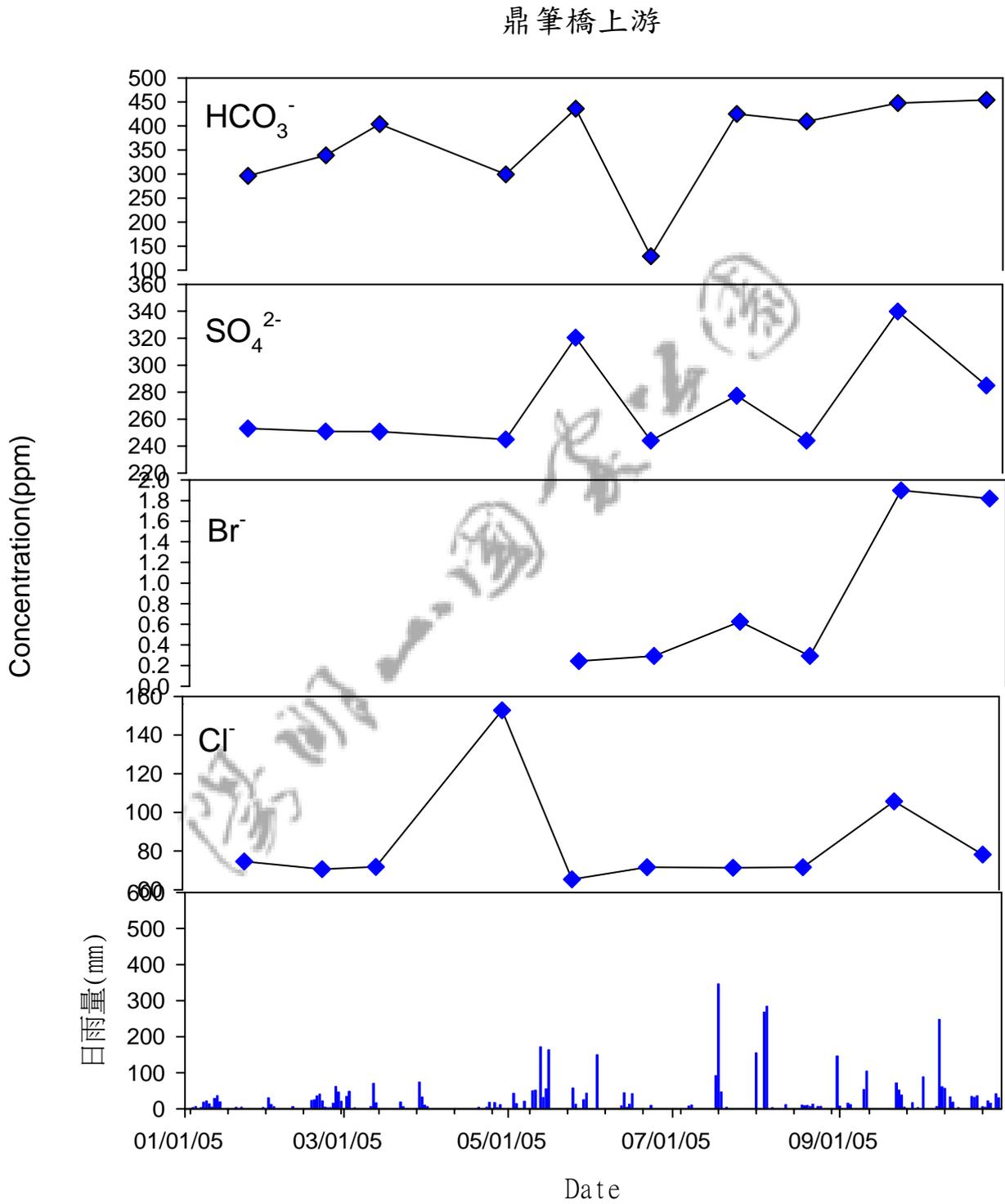
四磺坪							
日期	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
940124	--	7.68	0.54	--	--	100	--
940222	--	6.42	0.40	--	--	166	--
940315	--	7.34	0.43	--	--	136	--
940412	--	7.12	0.49	0.67	--	155	--
940526	--	4.93	1.07	0.68	--	450	--
940624	--	7.68	--	--	--	100	--
940725	--	7.78	0.54	0.90	--	112	--
940820	--	7.17	--	--	--	133	--
940923	--	8.56	1.90	--	--	102	--
941026	--	10.3	3.78	--	--	163	--

*"--"表濃度太低而儀器無法偵測之。

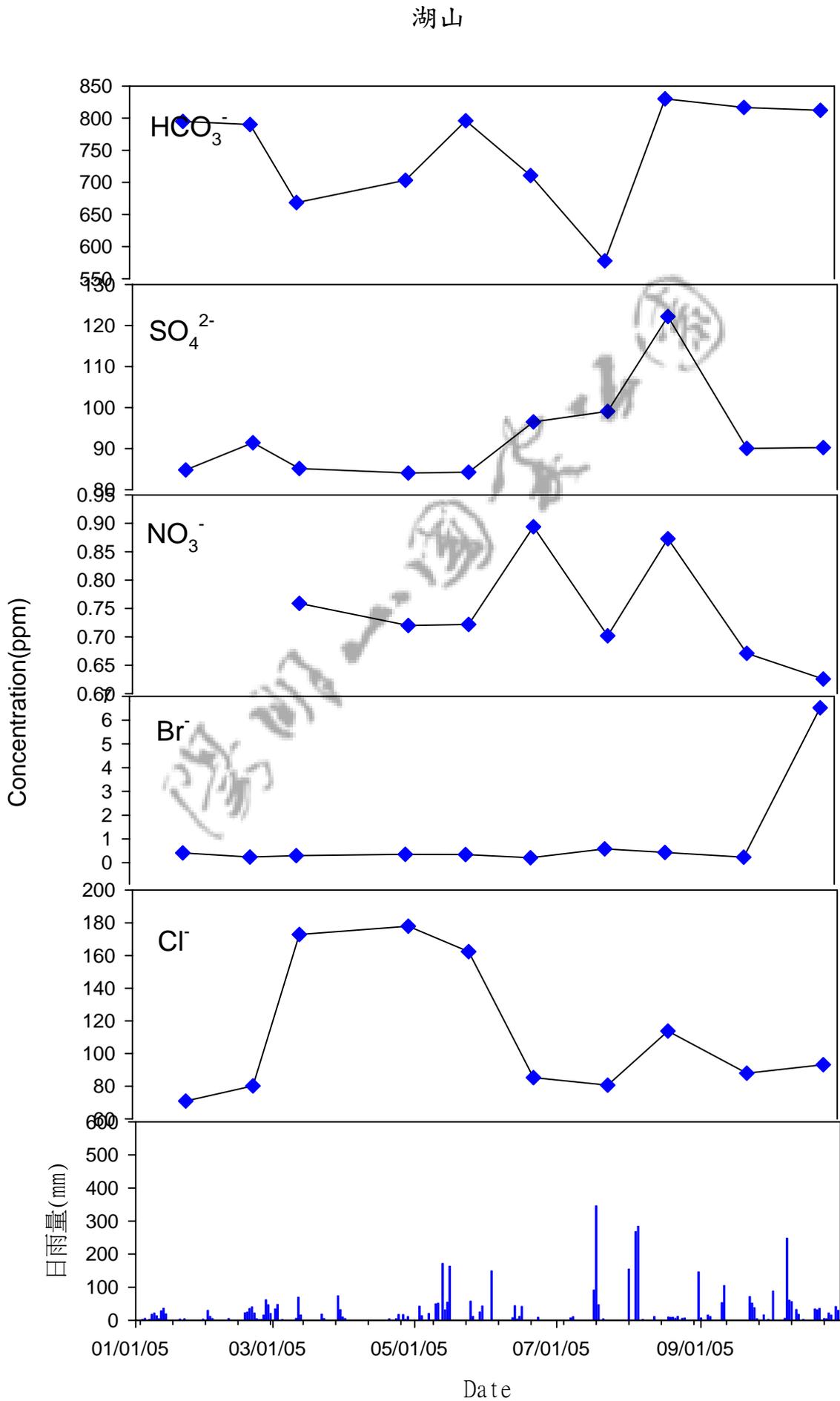
圖三十二： 硫磺谷溫泉陰離子濃度， 2005年月變化趨勢圖。



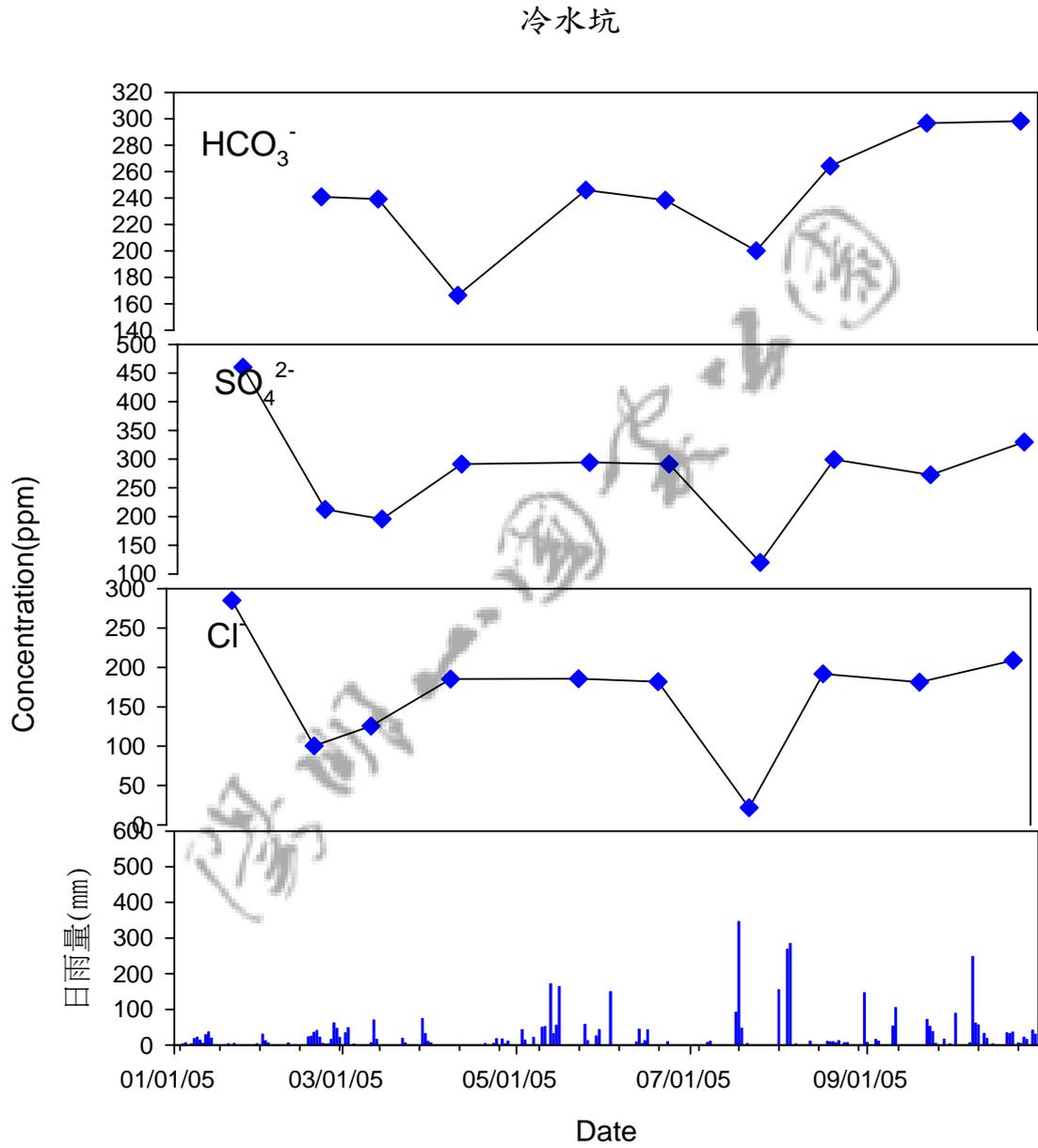
圖三十三：鼎筆橋上游溫泉陰離子濃度，2005年月變化趨勢圖。



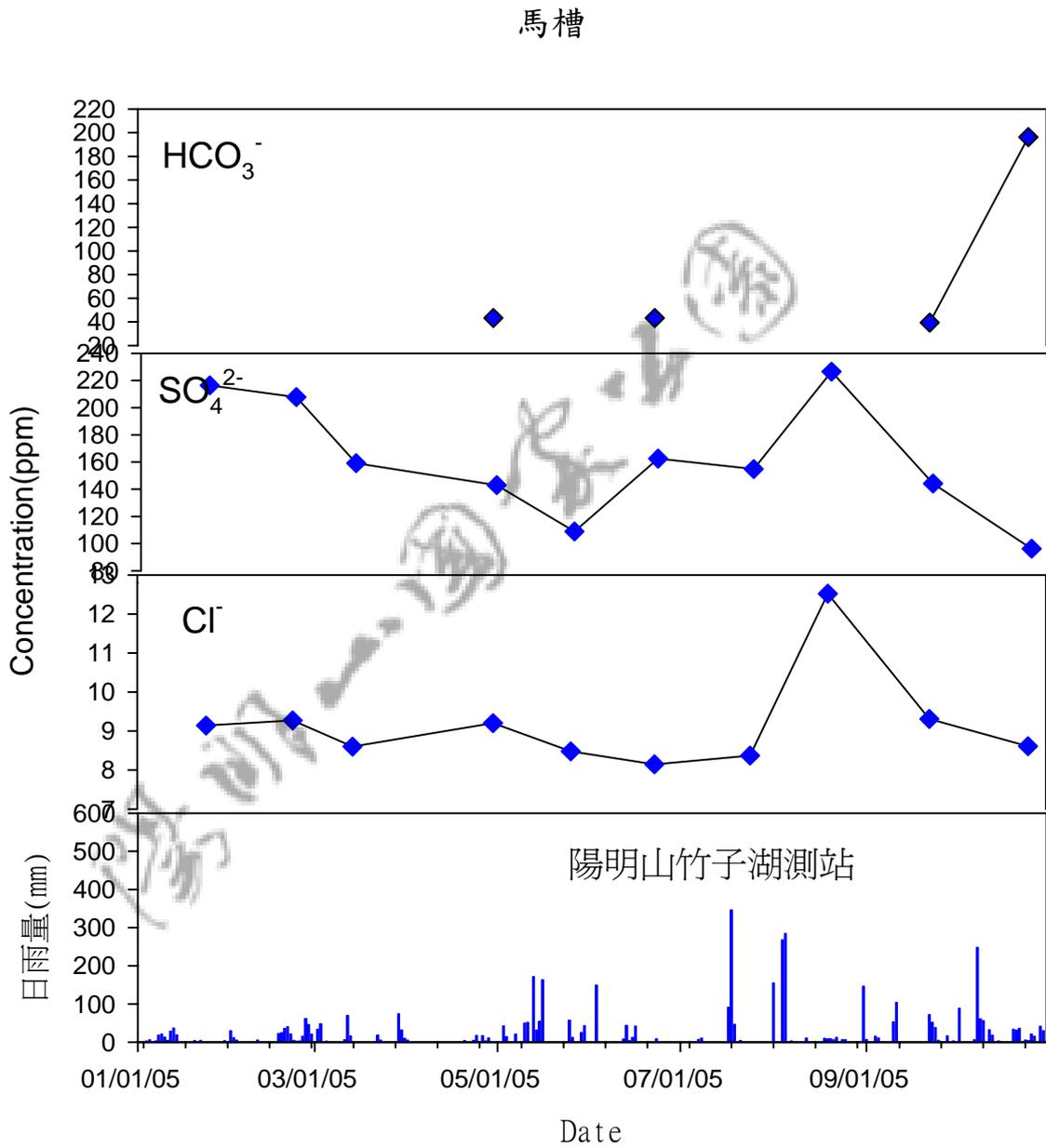
圖三十四：湖山溫泉陰離子濃度，2005年月變化趨勢圖。



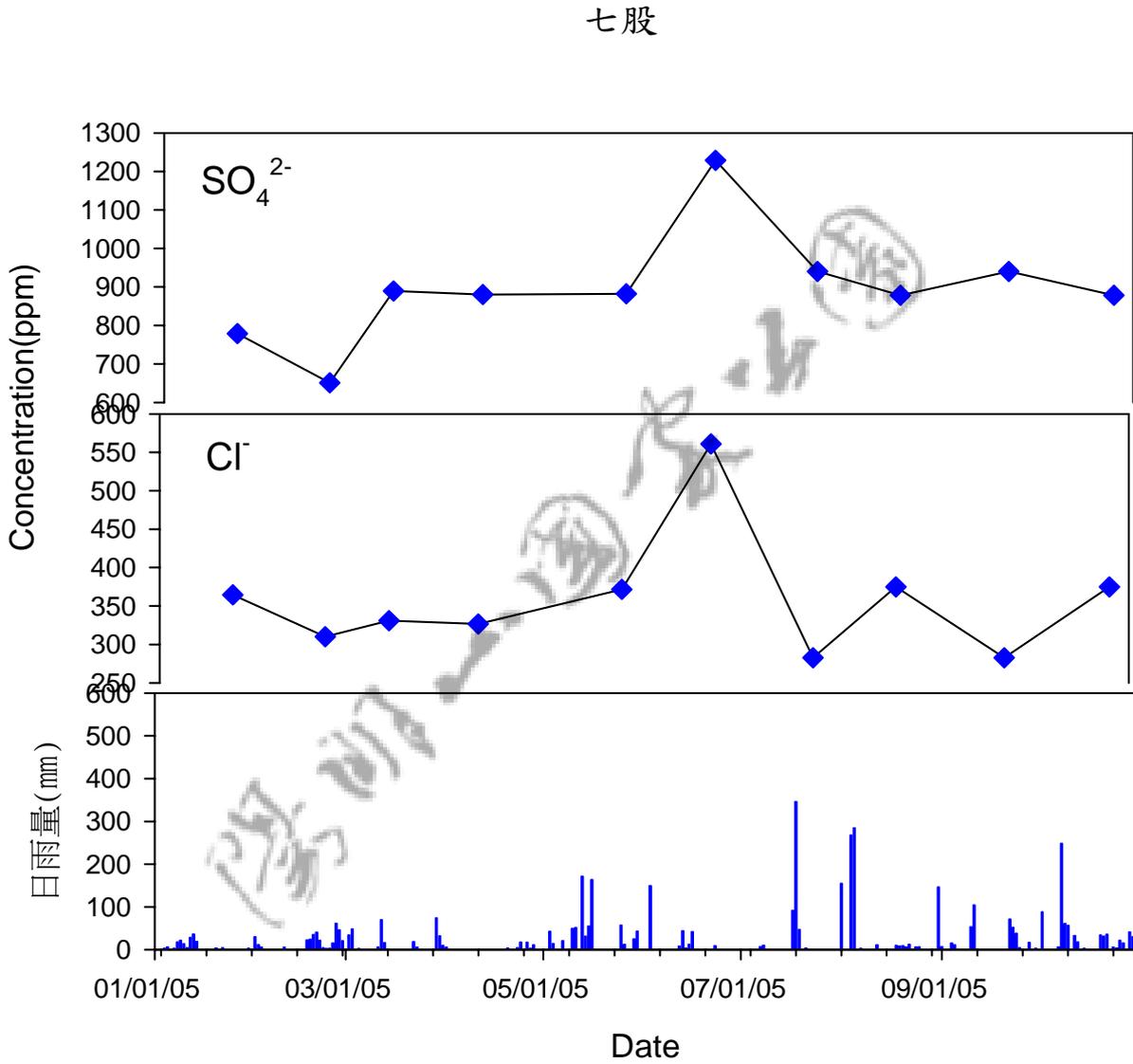
圖三十五：冷水坑溫泉陰離子濃度，2005年月變化趨勢圖。



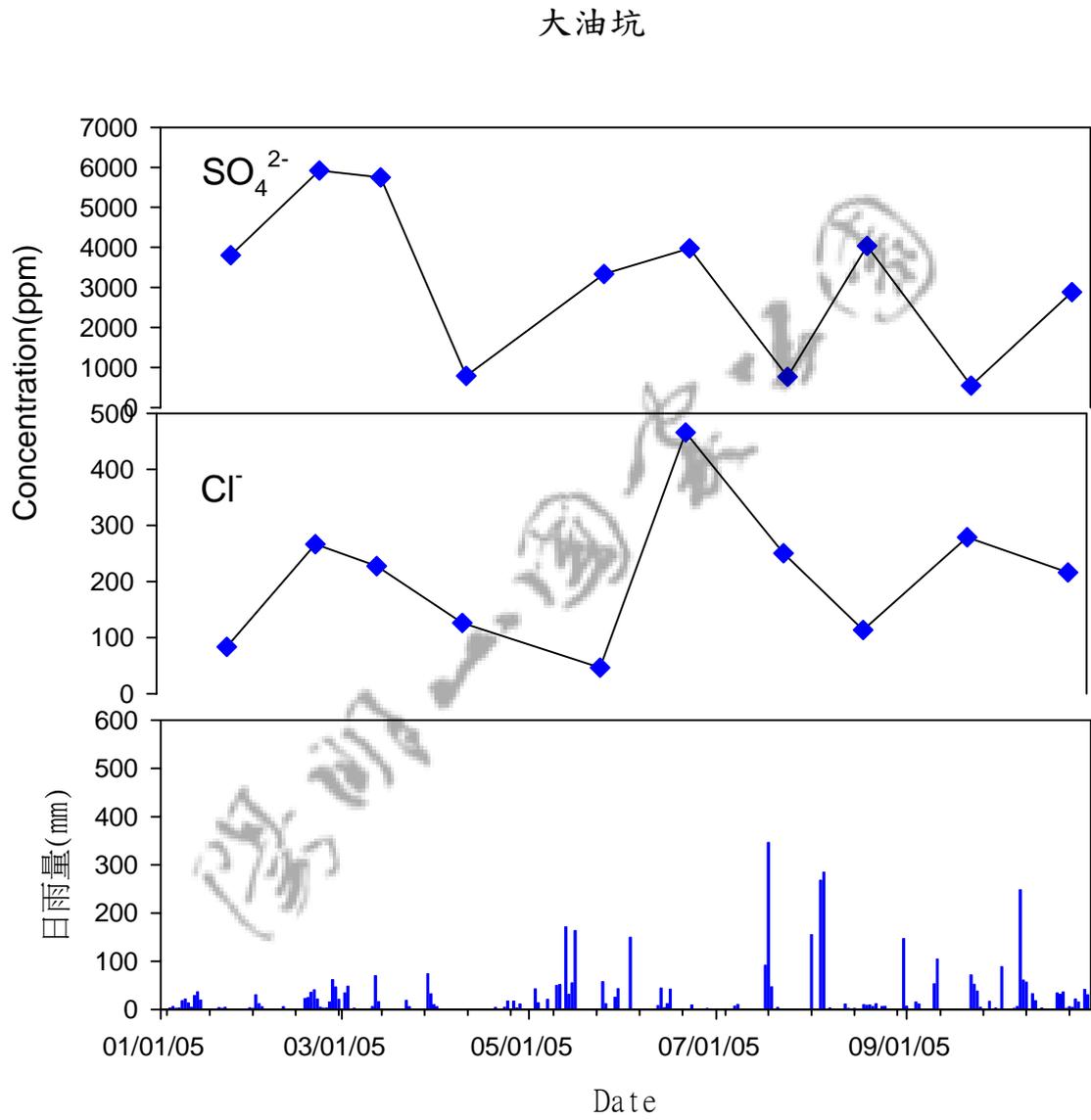
圖三十六：馬槽溫泉陰離子濃度，2005年月變化趨勢圖。



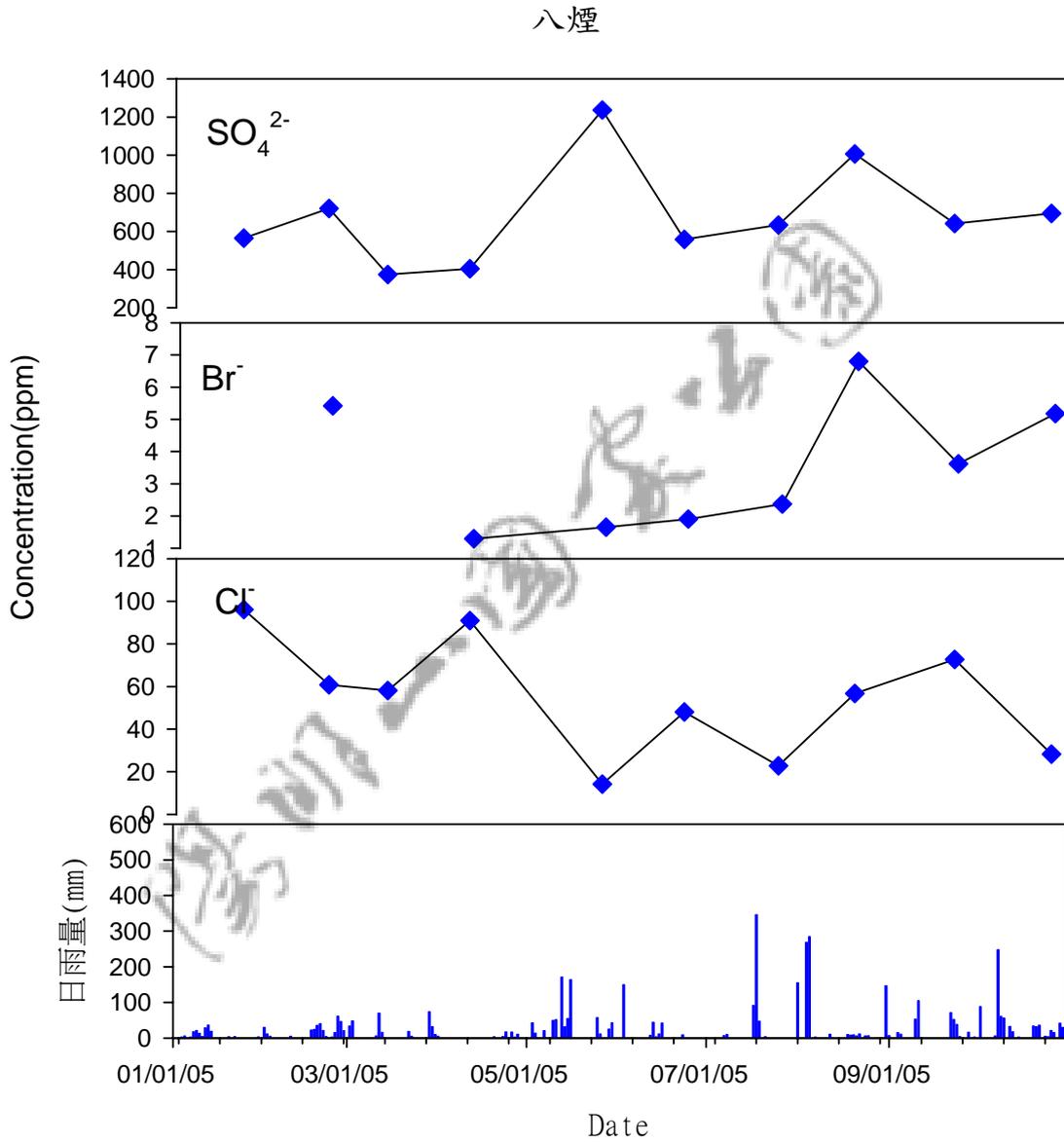
圖三十七：七股溫泉陰離子濃度，2005年月變化趨勢圖。



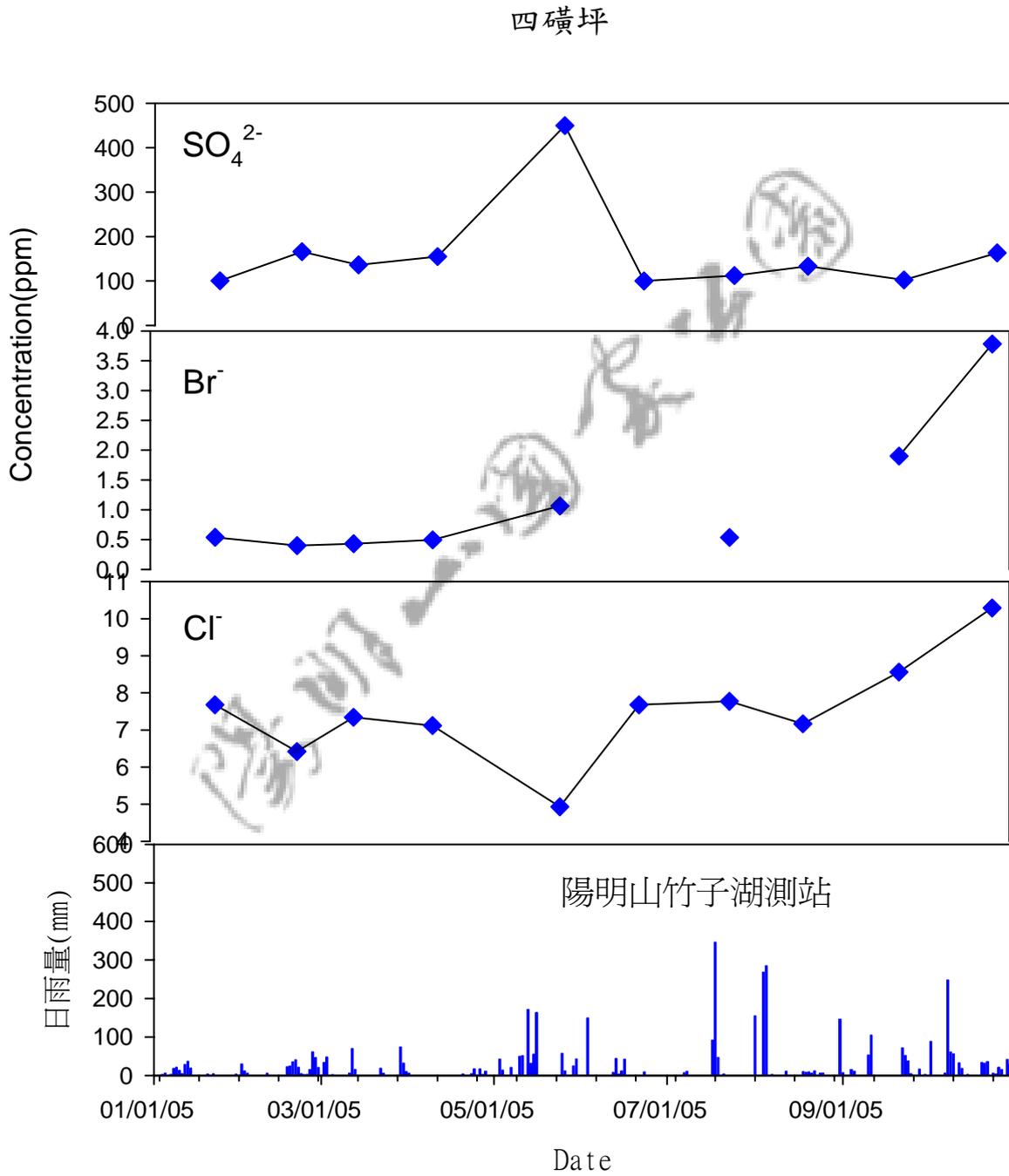
圖三十八：大油坑溫泉陰離子濃度，2005年月變化趨勢圖。



圖三十九：八煙溫泉陰離子濃度，2005年月變化趨勢圖。



圖四十： 四礮坪溫泉陰離子濃度， 2005年月變化趨勢圖。



表七：陽明山國家公園內各溫泉之陽離子分析結果

硫磺谷								
日期	Si ⁺⁴	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Al ⁺³
940124	23.6	14.4	28.5	7.00	9.50	--	--	--
940222	20.4	13.7	24.6	5.60	9.30	--	--	--
940315	22.1	14.0	45.0	11.1	6.80	--	--	--
940412	25.4	16.3	59.4	15.2	7.70	--	--	--
940526	21.4	13.8	45.4	11.0	7.20	--	--	--
940623	25.4	12.1	23.6	5.70	3.70	--	--	--
940725	23.4	6.8	12.7	5.50	6.10	--	--	--
940820	23.6	10.2	15.3	7.80	6.80	--	--	--
940923	19.7	--	15.5	3.60	3.50	--	--	--
941026	18.5	--	21.2	4.2	3.8	--	--	--

鼎筆橋								
日期	Si ⁺⁴	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Al ⁺³
940124	77.6	64.1	231	85.4	21.9	--	1.38	--
940222	76.6	62.1	188	85.0	21.3	1.10	1.43	--
940315	76.1	96.2	336	149	26.8	1.40	0.69	--
940411	78.6	98.6	318	154	27.8	1.40	0.69	--
940526	76.6	94.2	295	147	27.2	1.40	0.69	--
940623	62.8	41.0	154	68.6	18.8	2.00	1.41	--
940725	86.5	26.2	70.4	62.0	13.1	--	1.46	--
940820	82.3	35.0	94.4	82.0	16.6	4.00	1.44	--
940923	84.2	24.4	203	81.2	13.3	1.60	1.42	--
941026	82.6	10.5	142	65.5	11.3	0.50	1.42	--

湖山								
日期	Si ⁺⁴	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Al ⁺³
940124	73.2	56.6	206	111	22.9	--	0.22	--
940222	72.7	59.7	270	118	23.0	--	0.33	--
940315	72.6	81.9	300	189	28.0	--	0.35	--
940412	71.6	89.9	336	202	29.5	--	0.20	--
940526	71.4	78.9	359	155	25.9	--	0.28	--
940624	53.4	37.9	158	85.0	20.6	--	0.10	--
940725	83.3	27.0	81.5	92.2	15.4	--	0.33	--
940820	80.5	33.5	106	115	19.1	--	0.42	--
940923	76.5	11.3	152	77.2	11.1	--	0.33	--
941026	78.8	9.2	173	89.7	12.7	0.53	0.37	--

冷水坑								
日期	Si ⁺⁴	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Al ⁺³

陽明山溫泉、地熱資源與利用調查

940124	63.4	54.3	238	87.2	22.4	17.7	1.90	--
940221	65.3	55.7	280	88.2	22.5	18.3	1.98	--
940314	63.2	84.7	356	161	30.5	20.1	2.13	--
940411	62.3	84.4	417	156	30.1	19.7	2.15	--
940526	64.9	85.3	436	157	29.8	20.0	2.18	--
940623	50.1	37.6	180	68.6	19.4	15.1	1.95	--
940725	72.4	26.1	96.3	71.3	14.3	18.0	2.05	0.2
940820	69.0	26.1	87.4	70.8	15.8	17.7	2.10	--
940923	71.1	10.2	143	61.8	10.1	18.2	1.88	--
941026	70.5	6.38	186	66.7	12.6	15.9	1.88	--

馬槽								
日期	Si ⁺⁴	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Al ⁺³
940124	52.9	18.3	64.1	19.8	10.5	--	0.41	--
940222	49.8	17.9	60.8	18.6	10.3	1.5	0.43	--
940315	52.4	21.1	110	34.5	9.60	--	0.44	--
940412	54.6	23.5	123	38.6	10.5	--	0.21	--
940526	52.1	21.9	118	36.8	9.80	0.3	0.23	--
940624	52.3	18.5	48.4	15.1	7.20	--	0.40	--
940725	51.8	10.5	21.6	15.6	6.40	0.4	0.52	--
940820	48.4	12.4	27.1	21.0	7.20	1.8	0.50	--
940923	61.8	13.2	49.0	17.0	4.90	3.3	0.62	--
941026	60.4	--	--	--	2.90	4.3	0.61	--

七股								
日期	Si ⁺⁴	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Al ⁺³
940124	59.0	27.6	134	31.8	11.8	7.40	1.20	20.4
940222	54.7	24.2	115	27.0	11.4	8.30	1.10	22.3
940314	68.8	48.4	216	83.4	21.9	36.2	1.90	102
940411	65.8	43.4	223	69.8	17.1	22.6	1.60	51.4
940526	66.1	49.4	219	81.5	21.3	32.6	1.80	85.4
940623	66.9	49.5	221	83.6	19.4	30.1	1.80	86.4
940725	65.4	18.1	39.8	38.7	11.1	28.0	1.65	75.4
940820	65.5	22.2	49.1	47.8	13.3	44.2	1.88	122
940923	75.8	3.80	86.6	35.4	8.00	42.9	1.64	71.5
941026	70.1	--	85.5	33.2	7.83	33.0	1.58	63.0

大油坑								
日期	Si ⁺⁴	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Al ⁺³
940124	76.5	24.7	40.9	15.1	54.7	360	0.26	468
940222	74.1	16.7	30.3	8.30	22.6	133	0.19	216

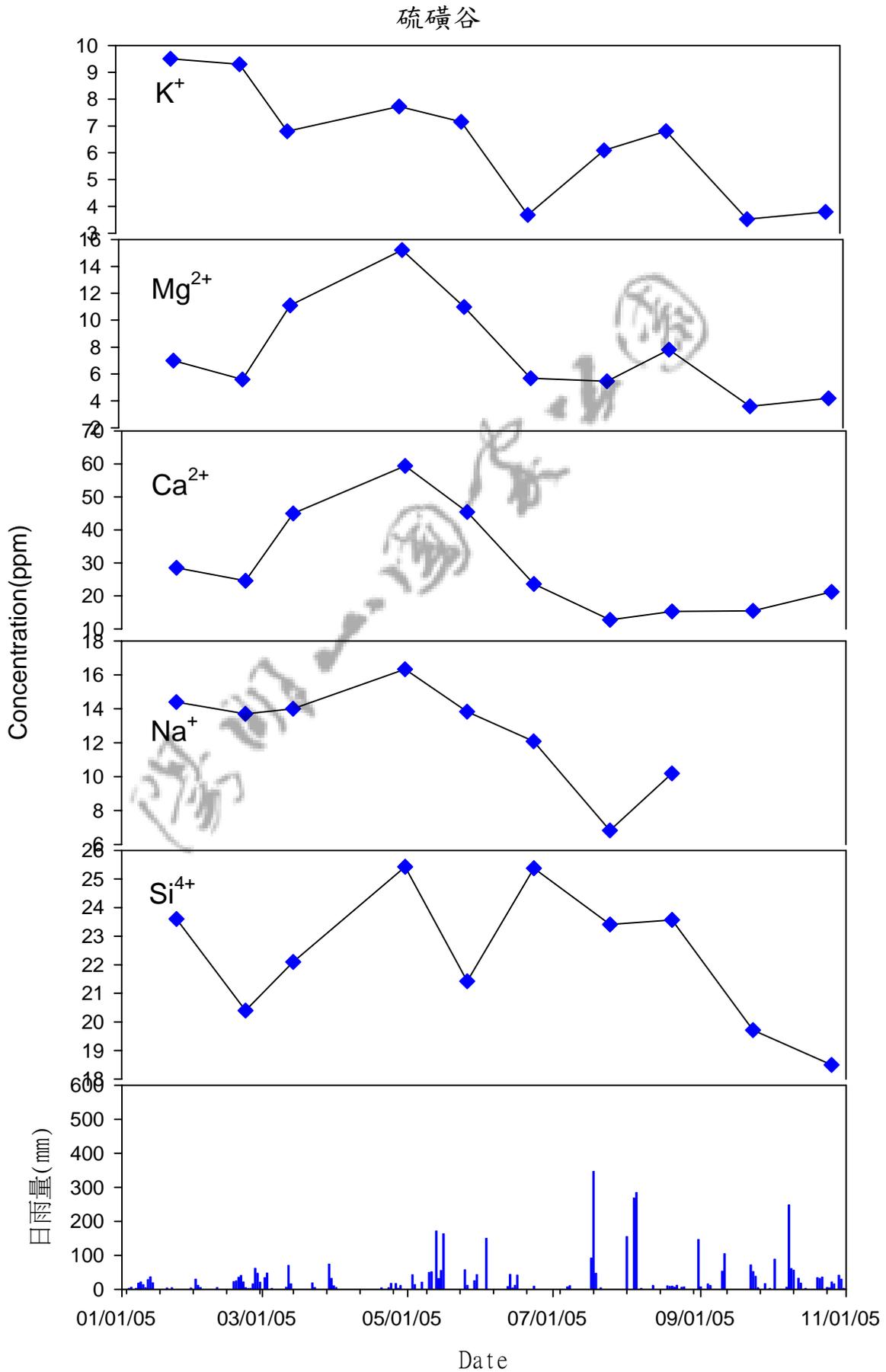
940315	79.7	29.2	68.8	25.5	70.7	196	0.32	339
940421	90.2	25.5	70.0	24.8	49.5	155	0.36	294
940525	76.6	17.9	286	23.0	26.5	209	0.20	174
940624	76.0	18.0	29.0	23.0	27.2	210	0.21	175
940725	110	14.2	17.0	11.1	35.2	215	0.35	386
940820	106	17.6	20.4	14.8	51.2	216	0.37	508
940923	111	15.6	28.0	9.60	14.4	159	0.41	200
941026								

八煙								
日期	Si ⁺⁴	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Al ⁺³
940124	50.9	22.3	47.4	18.2	1.10	9.30	0.60	7.85
940221	41.5	18.7	33.1	12.8	1.10	7.20	0.40	7.17
940314	42.2	21.8	68.1	23.8	7.50	7.30	0.44	6.36
940421	51.5	20.1	55.2	18.7	8.10	10.1	0.34	11.1
940525	70.2	17.3	31.2	12.5	11.2	18.8	0.18	36.4
940624	43.1	23.5	69.1	24.5	8.10	8.60	0.45	7.23
940725	81.4	12.2	20.1	12.8	6.30	9.50	0.63	24.0
940820	100	12.9	16.8	13.1	6.70	25.5	0.67	67.6
940923	86.1	11.6	34.1	15.1	4.40	15.5	0.70	17.8
941026	47.1	--	21.5	7.3	3.8	11.5	0.32	16.0

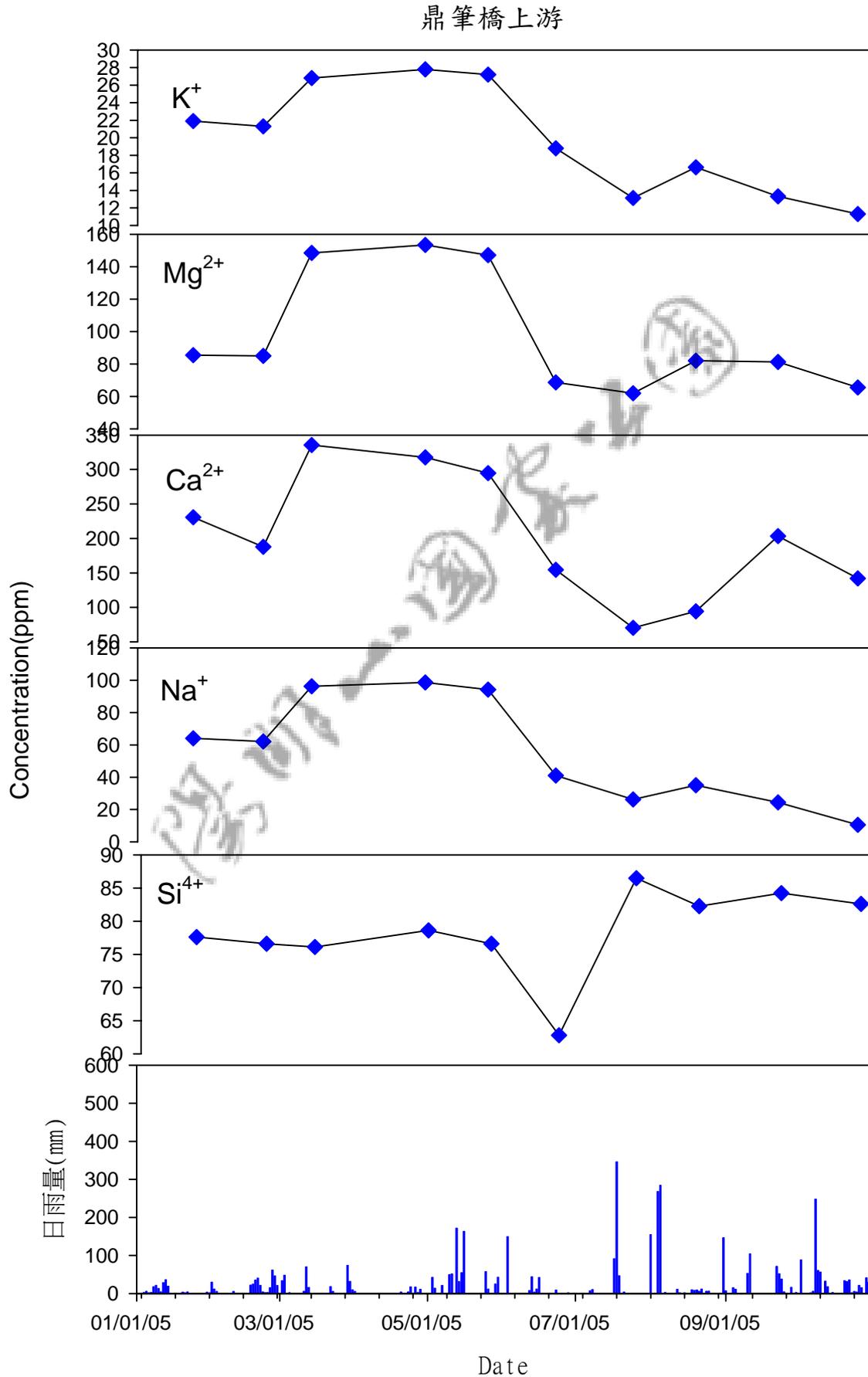
四礮坪								
日期	Si ⁺⁴	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Al ⁺³
940124	14.5	11.9	563	9.50	1.40	22.6	--	1.39
940221	14.4	13.4	588	9.70	1.50	6.60	--	3.34
940314	13.3	10.0	977	6.00	2.90	1.80	--	1.36
940421	22.1	11.0	167	6.60	6.00	3.80	--	6.42
940525	22.5	11.2	163	7.80	5.60	54.9	--	17.3
940624	14.4	12.0	110	7.00	3.50	2.00	--	1.50
940725	20.4	8.20	7.50	2.40	5.10	3.00	--	2.00
940820	19.3	10.9	12.4	8.70	5.50	4.00	--	6.30
940923	16.6	12.8	5.20	1.70	3.50	5.50	0.02	0.70
941026	14.1	--	5.8	1.21	3.1	9.8	0.03	6.8

*"--"表濃度太低而儀器無法偵測之。

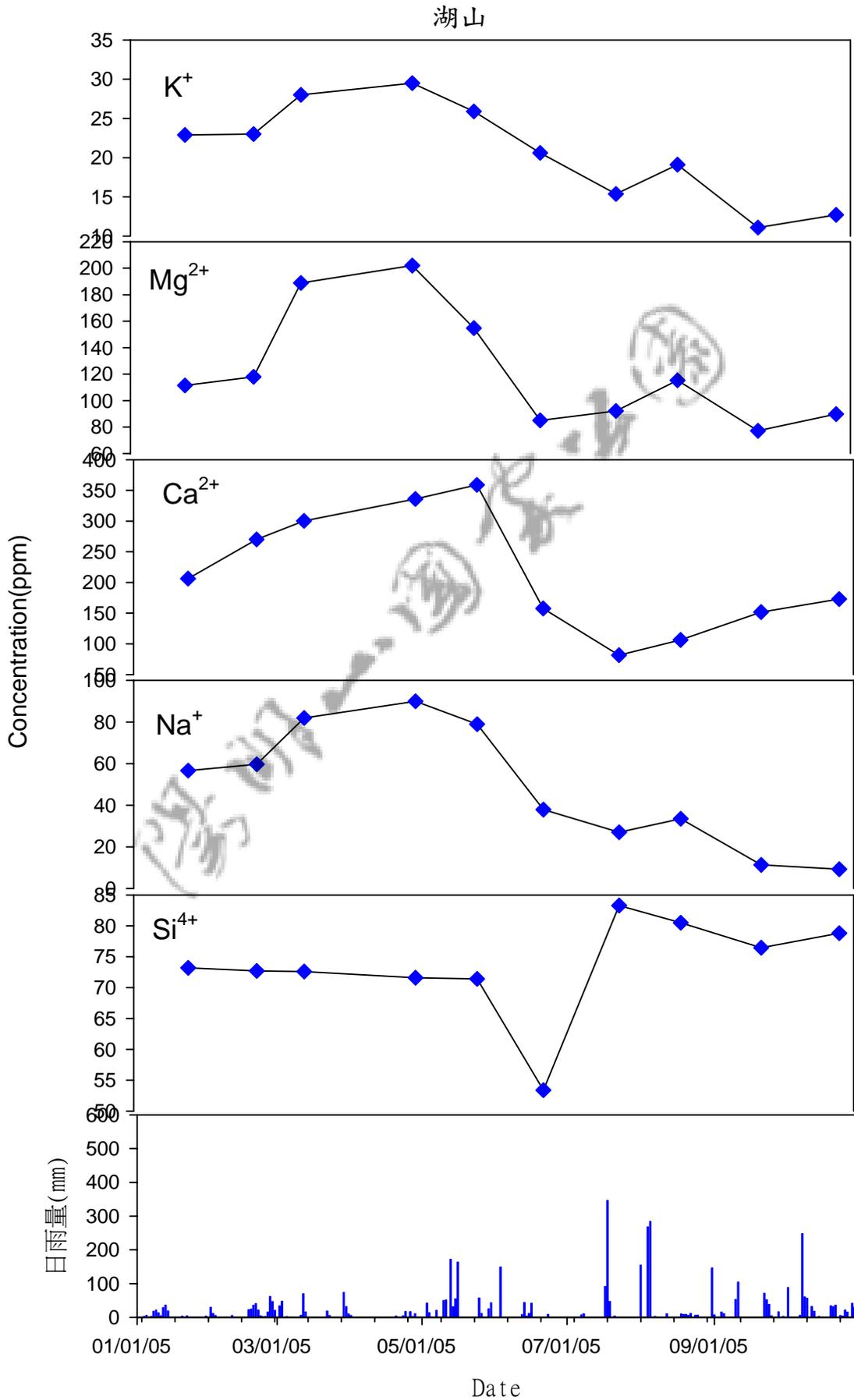
圖四十一： 硫磺谷溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖。



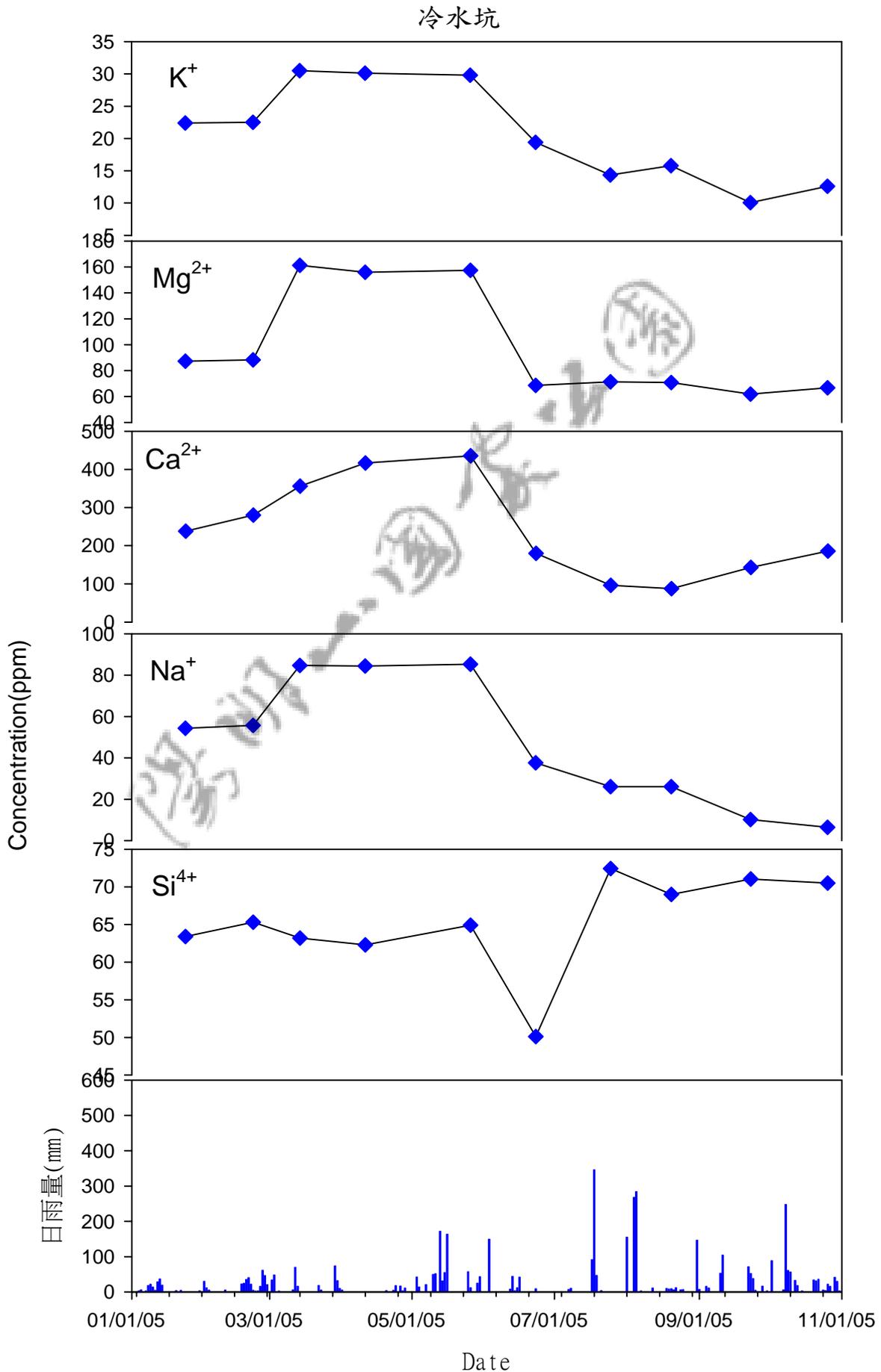
圖四十二：鼎筆橋上游溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖。



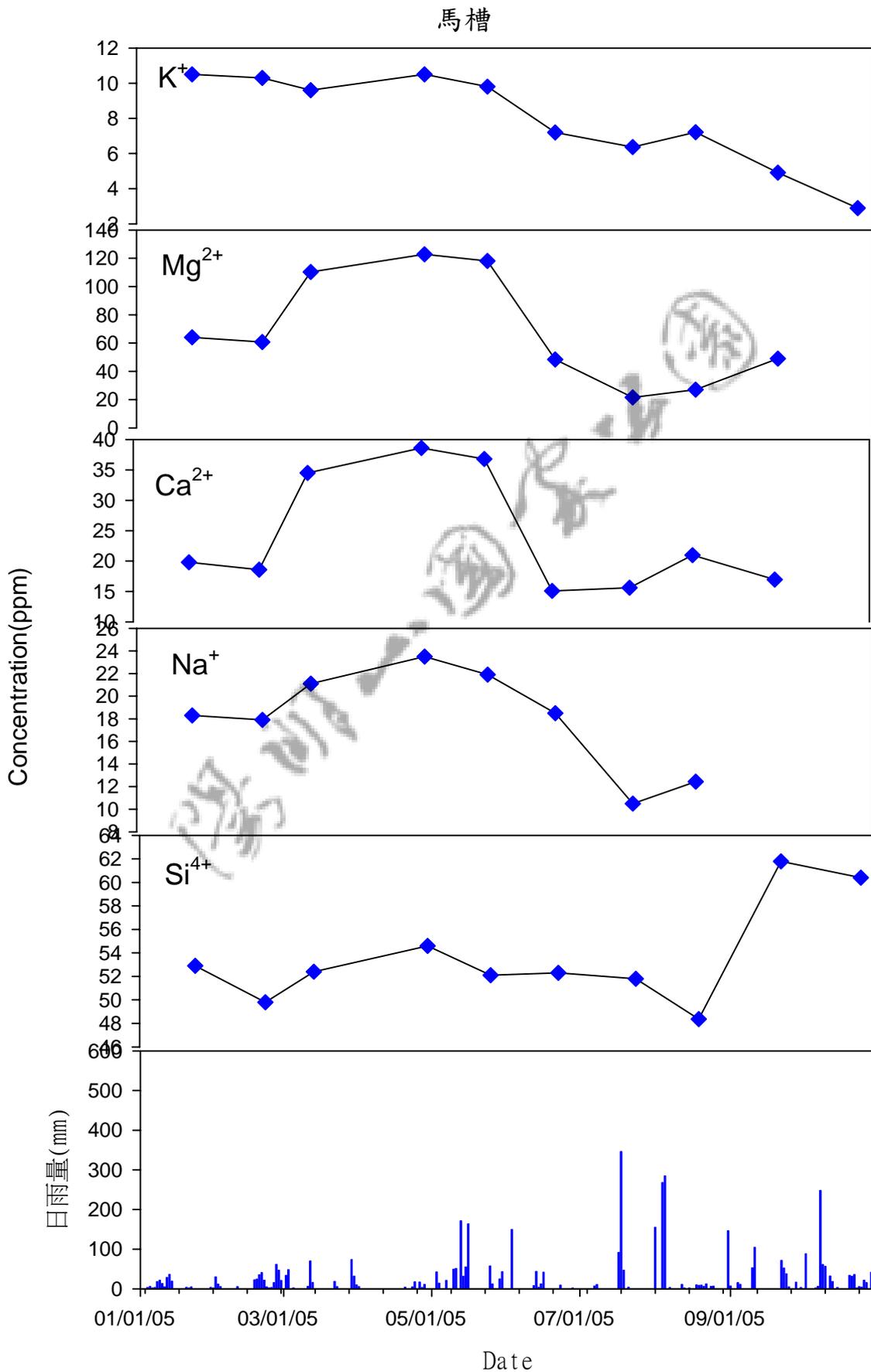
圖四十三：湖山溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖。



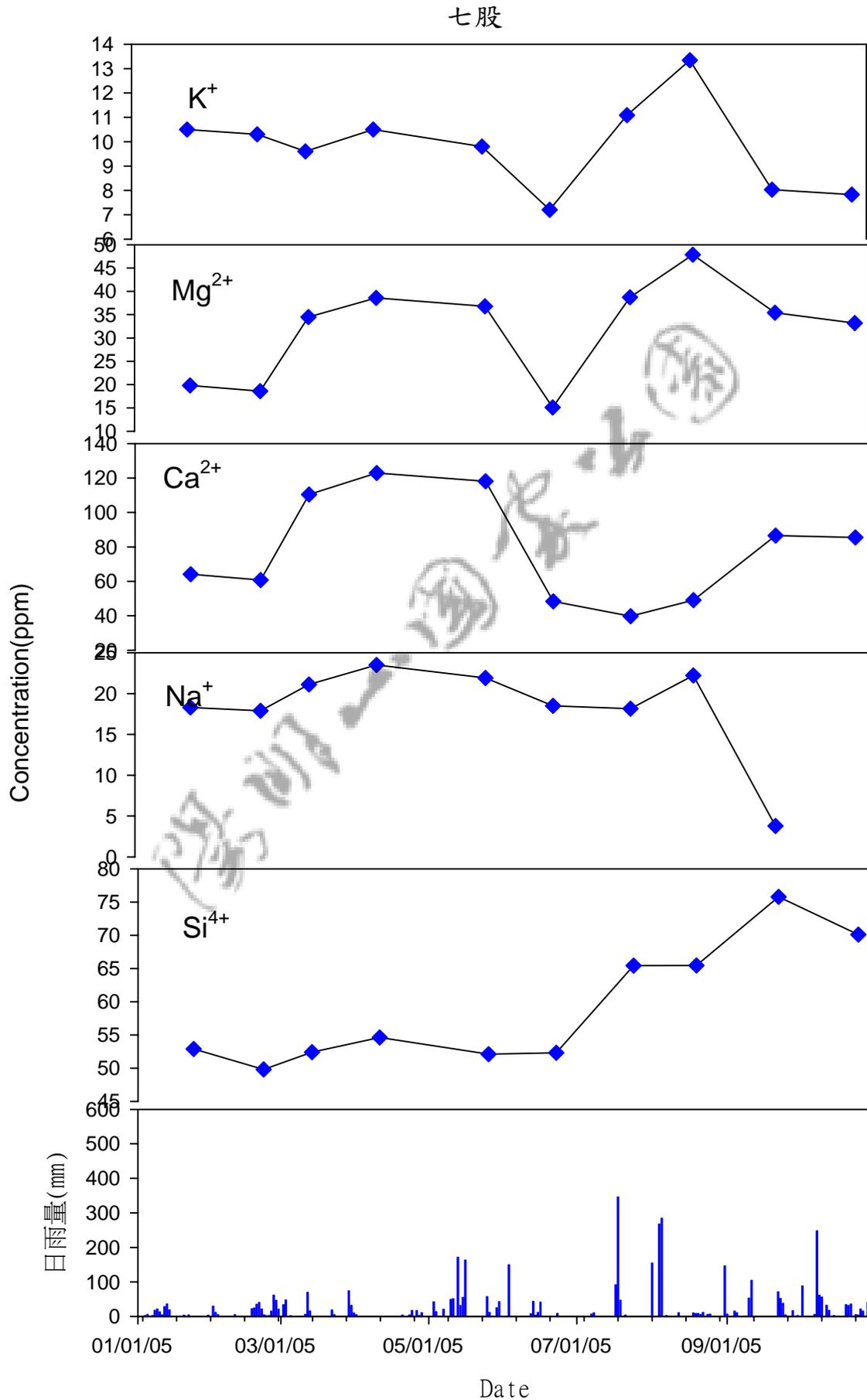
圖四十四：冷水坑溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖。



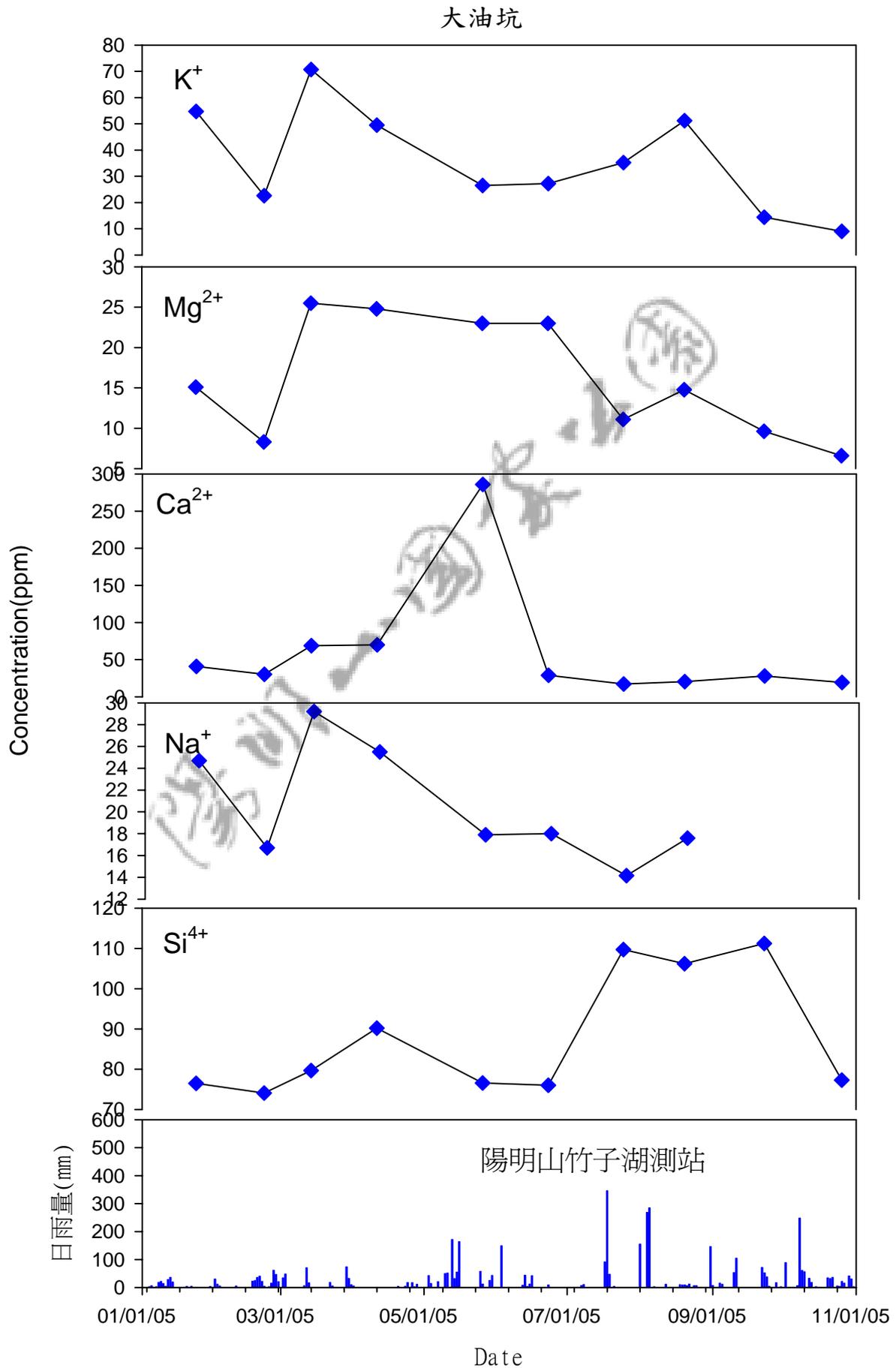
四十五：馬槽溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖。



圖四十六：七股溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖。

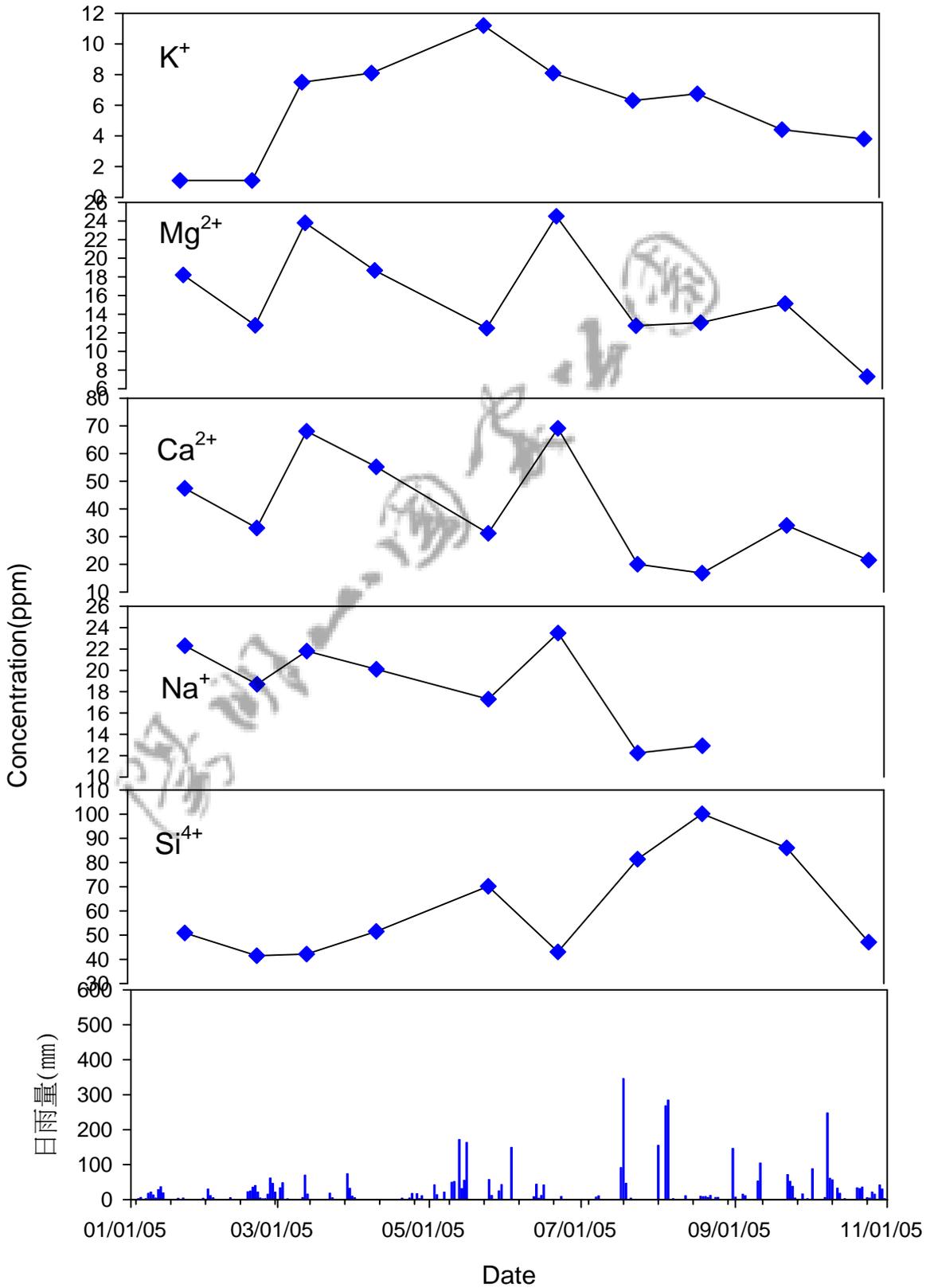


圖四十七：大油坑溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖。

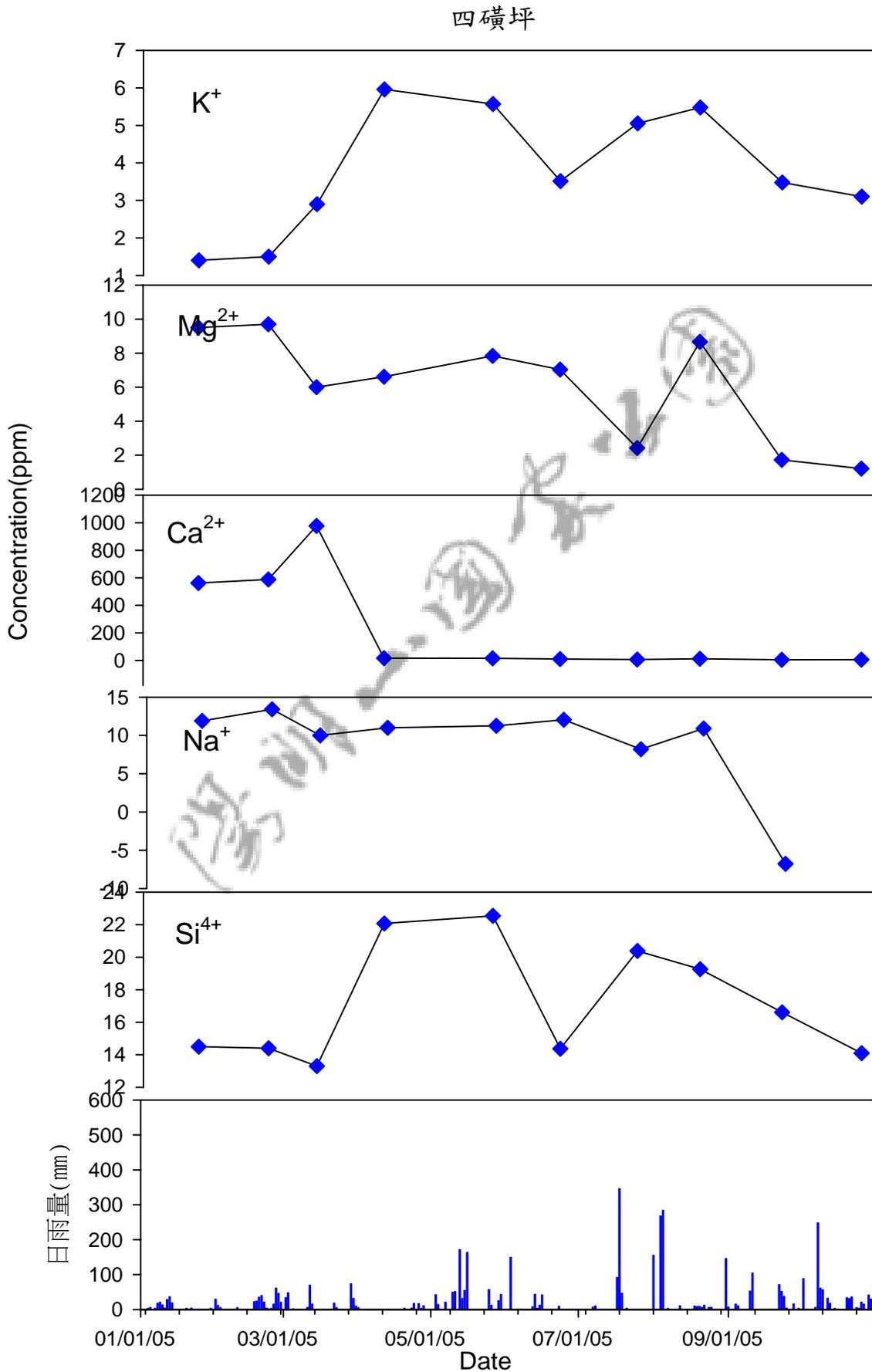


圖四十八：八煙溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖。

八煙



圖四十九：四礮坪溫泉陽離子濃度，2005 年月變化趨勢圖。



第四節 溫泉同位素

1、氫氧同位素分析結果

大屯火山群山泉水、河水、溫泉水和氣體冷擬水的氫氧同位素分析，包括有劉康克等(1982)、謝越寧(1983)、汪中和(1991)、李曉芬(2004)和劉佳玫(2005)等。這些分析結果顯示大屯火山群的大油坑和小油坑的氫氧同位素分析結果，有明顯的偏離天水線現象； $[\delta^{18}\text{O} = -6.5 \sim +4.4\text{‰}; \delta\text{D} = -26.2 \sim +12.6\text{‰}]$ ，其中， $\delta^{18}\text{O}$ 偏離多達8‰，其偏離的斜率介於2-4之間，顯現其可能是受到蒸發作用的影響，但從其他離子，如硫酸根離子和氯離子的分析中也顯示，這兩處的溫泉可能不指受到蒸發作用的影響，可能也受到圍岩交換作用或與地層水混合作用的影響(李曉芬，2004)。

在這些分析中，大油坑和小油坑的氫氧同位素有明顯的偏離天水線。另外，硫磺谷、馬槽、四磺坪、冷水坑、八煙和龍鳳谷等溫泉，其氫氧同位素分析結果顯示相當接近天水線附近，顯示其可能只是單純的天水循環到地底上被加熱後，就直接上升至地表形成溫泉或蒸氣。

2、硫同位素分析結果

大屯火山群溫泉水中的硫同位素分析，共有硫磺谷、冷水坑、馬槽、小油坑和四磺坪等五個位於火山岩區的溫泉，和三個位於沉積岩區的溫泉，如地熱谷、金山和大埔三個溫泉，全部共八個溫泉點有分析資料，其結果如表八。位於沉積岩區之溫泉水的硫同位素比值，介於+24‰到+29‰之間，而火山岩區之溫泉的硫同位素比值，則介於0‰到+8‰之間。其中，沉積岩區溫泉水的硫同位素比值比火山岩區的溫泉水高出甚多，而中性溫泉水(冷水坑)之硫同位素比值又比酸性溫泉水(硫磺谷、馬槽、小油坑和四磺坪)者略高。

沉積岩區溫泉水的硫同位素比值比火山岩區的溫泉水高出甚多，且本區的地溫梯度異常高，在地下淺處的溫度便可超過100°C，故一般之細菌作用影響留同位素可忽略。因此，所測量到的硫同位素可以視為代表來源物質的訊號。比對各環境中之硫同位素比值，可以發現沉積岩區溫泉水之硫同位素比值落在沉積岩範圍內，尤其與海相沉積岩區特別吻合。然而，沉積岩區溫泉氣體之氮同位素資料顯示了岩漿來源，其中 SO_2 和 H_2S

含有硫之氣體成分勢必在上升至地表過程中溶解在熱水中而變成硫酸根，並影響溫泉硫同位素比值。一般來自於安山岩岩漿的硫同位素約在5附近，然而本區來自沉積岩區的溫泉水之硫同位素與海相沉積岩之硫同位素值相當接近，故岩漿源之硫在大屯火山群溫泉水中所佔的比例不高。

位於火山岩區的溫泉水硫同位素比值相對較低，故其主要硫之來源並非如沉積岩區溫泉水一般是來自於海相沉積岩，其硫同位素比值與火山源之硫相當接近，因此火山源之氣體，如SO₂與H₂S之溶解於熱水中，可能為火山岩區溫泉水中之硫的來源。

表八：沉積岩區與火山岩區溫泉水之硫同位素($\delta^{34}\text{S}$ ，單位‰)分析結果(陳耀麟，2002)

溫泉出露之母岩岩性	沉積岩			火山岩				
	金山	大埔	地熱谷	硫磺谷	四磺坪	馬槽	冷水坑	小油坑
$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	+24.5	+28.5	+26.1	+2.4	+3.3	+0.8	+7.8	+3.4

3、氦同位素分析結果

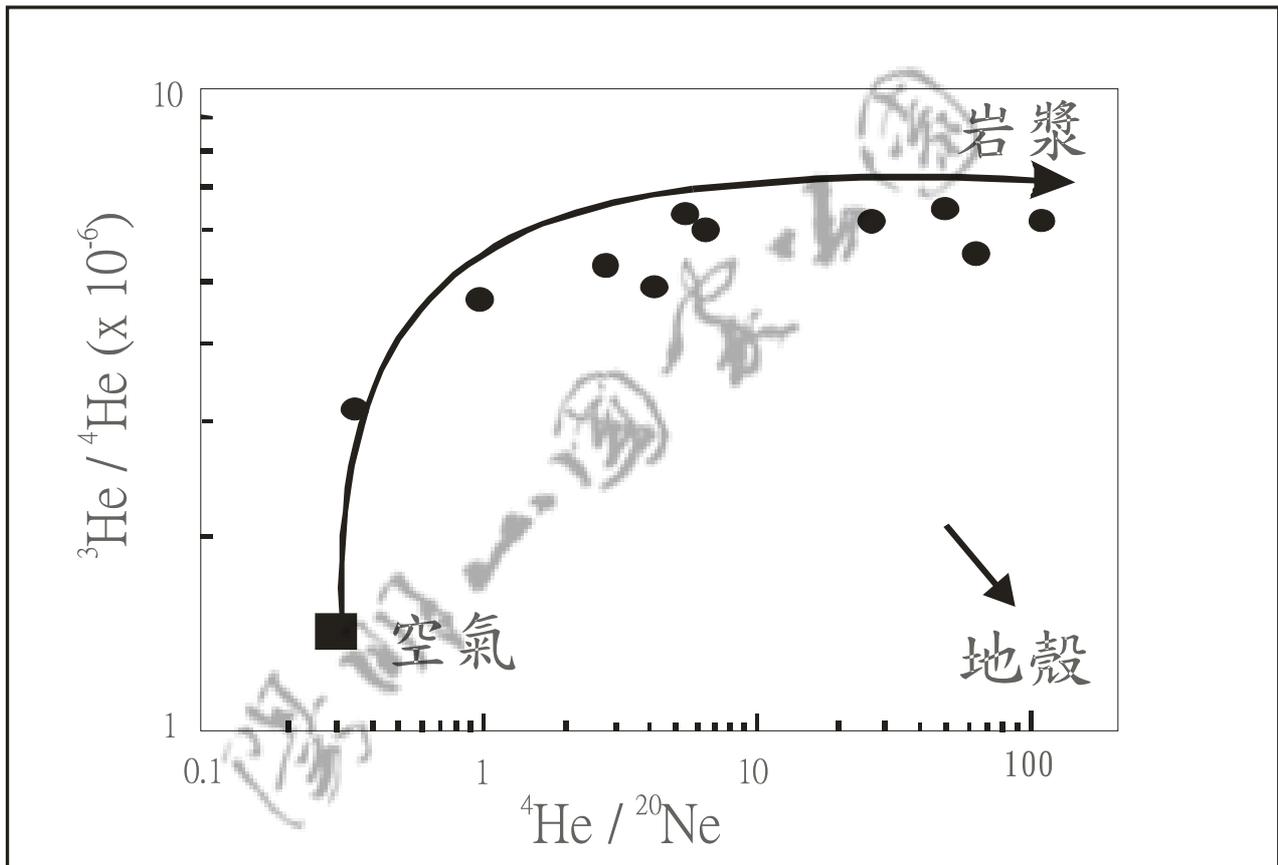
氦同位素 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值在大氣、地殼、地函物質中的差異極大，且氦氣在空氣中的濃度低、溶解度極低且不易與其他物質產生化學反應，最能直接反應出自於地函的岩漿源組成訊號，因此能藉由量測火山氣體中的氦同位素比值成份，以了解噴氣口中蒸氣的來源，並進一步的幫助探討溫泉的來源和成因。

從分析結果顯示，大屯火山群噴氣所含氦同位素比值介於 4.7~6.8 倍大氣比值之間，其中大油坑之比值最高，而地熱谷最低。顯示大油坑和地熱谷這兩個區域得噴氣來源可能不同，或是有不同的管道(何孝恆，2001)。另外，若假設大屯火山群噴氣中的氦同位素組成是由岩漿源端成分，與地表(大氣+地殼)端成分混合而成，則可估算大屯火山群噴氣中的氦同位素成分，除了地熱谷和馬槽之外，平均有大於 60%的氣體源自於地下的岩漿庫源；大油坑之噴氣甚至可達 90%以上是來自岩漿源(圖五十)，暗示大屯火山群地底下可能還有岩漿庫存在(何孝恆，2001)。

在硫磺谷與馬槽同一地點同時採集了火山噴氣與溫泉氣泡的樣品，結果經過空氣校正以後，顯示相同時間在同一地點所採得的火山噴氣與溫泉氣泡，其校正後的氦同位素比值皆在

實驗誤差範圍內，且不因採樣位置不同而有成份的變化，表示同一溫泉地熱區內之火山噴氣與溫泉氣泡有相同氦同位素來源。大油坑有最高的氦同位素比值，已經非常接近（甚至超過）鄰近地區（如日本、菲律賓）現生火山地區噴氣的氦同位素比值 (Poreda et al., 1988)，顯示目前大油坑地區的噴氣已接近岩漿源噴氣的氦同位素組成。

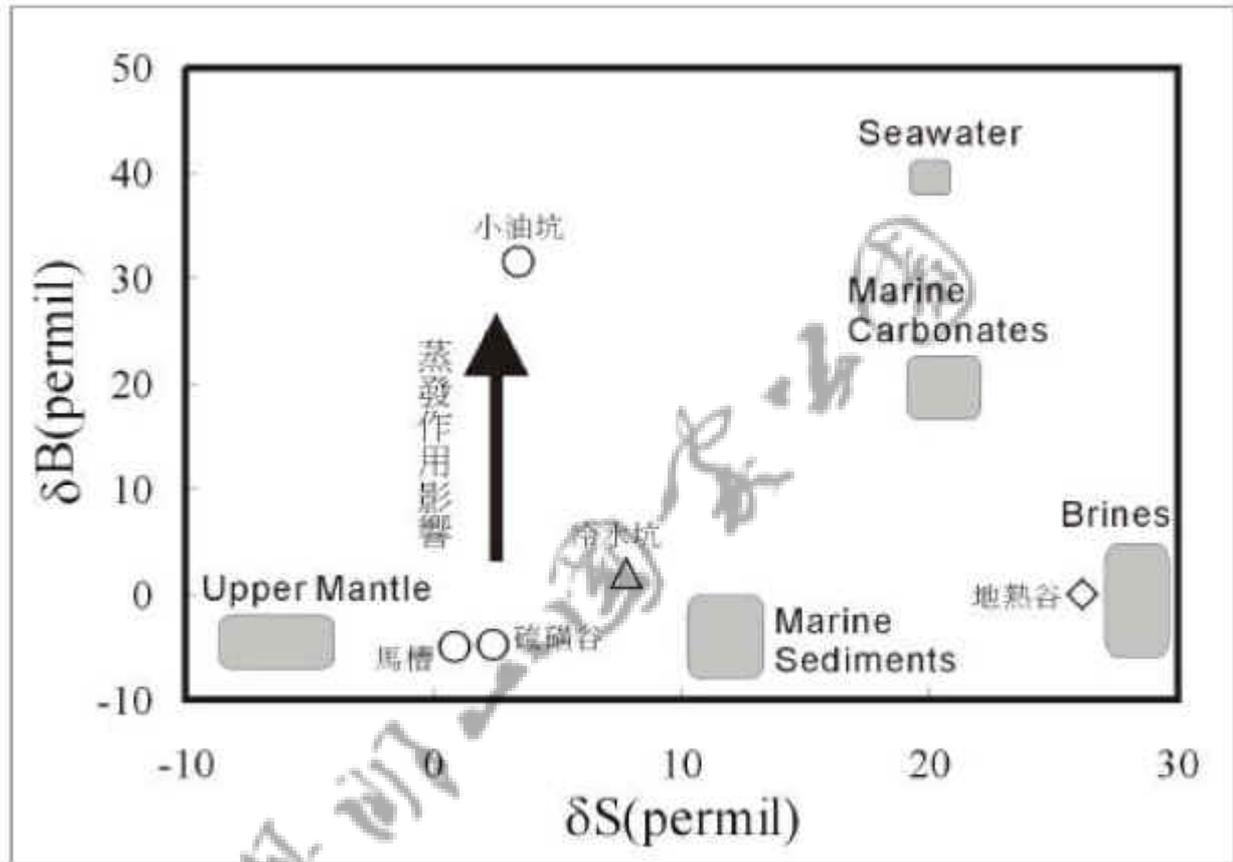
圖五十：大屯火山群氦同位素分析結果；顯示噴氣口中的氦氣含量是由岩漿和空氣混合而來。



4、硼同位素分析結果

大屯火山群的溫泉水中也有部份溫泉有進行硼同位素的分析，其分析結果如圖五十一。從圖中顯示，馬槽和硫磺谷溫泉的硼同位素較低，而小油坑溫泉的硼同位素最高。配合硫同位素和彭同位素值，顯示馬槽和硫磺谷的溫泉可能與岩漿源有關，地熱谷溫泉可能是天水和地層中的滴水混合形成的，而小油坑溫泉則受到蒸發作用的影響(陳耀麟，2002)。

圖五十一：大屯火山群溫泉水與其他物質硫和硼同位素比值圖；Upper Mantle:上部地函；Marine Sediments:海相沉積物；Brines:地層滷水；Marine Carbonates:海相碳酸岩；Seawater:海水。



5、碳同位素分析結果

大屯火山群的噴氣和溫泉水氣的碳同位素比值為 $\delta^{13}\text{C}$ 介於-3.06~-7.28‰之間(謝佩珊, 2000), 大致落於一般火山島弧的範圍內($\delta^{13}\text{C}$ =-4~-9‰), 顯示和其他同位素的結果相同, 支持大屯火山群的氣體來源可能是火山島弧源的岩漿。

第六章 地熱溫泉的成因

第一節 溫泉成因概述

溫泉為貯存於地下的熱水，上湧至地表所形成的。故討論溫泉的成因，主要是探討地下熱泉水如何形成。一般而言，溫泉水的成因有二，一是地表循環水滲透入地下，在地底深處被地溫梯度或岩漿的熱量加熱成熱水；另一為存在地下高溫岩漿內的岩漿水等兩種。

過去傳統上對溫泉成因的看法有下列數種：

- 1、水循環說：此種看法為 1846 年德國人 R. Bunsen 所提倡。他認為溫泉是天水（一般為雨水）順著地層中的裂隙或岩罅滲流至地下深處，然後受火山岩漿熱量加熱，並吸收許多火山氣體和溶解其所通過路徑周遭岩石的化學成分，再湧升流出地表所形成的。此一說法較為一般學者所接受。
- 2、岩漿水說：此種看法為 1847 年法國人 Elie de Beaumont 所提倡。他分析火山噴出物、礦脈以及溫泉中的化學組成，顯示它們具有相當類似的成分，故主張溫泉水和礦脈皆起源於岩漿中的揮發成分，而主張溫泉為岩漿水。
- 3、熱水溶液說：此種看法為美國人 Lindgren 所提倡。其是由岩漿水說加以修正而成的；認為溫泉和礦床皆由岩漿水而來，在礦石沉澱的同時，熱水湧出地表形成溫泉。
- 4、噴氣說：此種看法由 L. L. Day 及 E. T. Allen 兩人所倡導，認為溫泉是岩漿的高溫氣體，遇到冷的地下水後，把水加熱成高溫水蒸氣並釋放出揮發性成分，湧升至地表所形成的。

近年來對於溫泉的觀察研究，累積了相當多的資料，對於成因的看法與過去傳統的溫泉成因論，稍有不同；認為溫泉形成的成因，必須考慮其在地下時的熱源和化學成分來源，以及這些熱水溫泉如何到達地表。

- 1、熱源：雖然新生的火山地區多溫泉，但另一方面，沒有火山或侵入岩體的地區也有溫泉存在。事實上，溫泉的熱源可分為火山性及非火山性兩大類，前者與岩漿活動有關，後者

則是地溫遽增的結果。以日本來說，其 86% 以上的溫泉，熱源與第四紀的火山活動有關，3% 則是與新第三紀，特別是上新世的火山岩相關。

至於非火山性的溫泉熱源，可能有：a) 正常的地溫、b) 斷層的摩擦熱、c) 化學反應熱、d) 放射熱能。

其中地殼內化學反應熱和放射熱能的熱量有限且分散，不太可能作為地下水的直接熱源，加熱成溫泉。而斷層活動的時刻短暫，雖可累積相當的熱能，使斷層帶上的地下水溫度迅速上升至相當程度，但因其提供的熱能相當短暫，欲作為溫泉長期熱源則不太可能。

地溫梯度即是越往地下深處溫度越高。一般來說，台灣地區為新的造山帶，平均地溫梯度是每往地下一公里，溫度就增加 30°C 以上。如果泉水是來自地下一公里以上的深度，加上台灣地區地表的年平均溫為 20°C，則湧出的泉水溫度已達 50°C 以上，即是溫泉。台灣除了火山岩區的溫泉外，絕大部分的溫泉即是這樣形成的。另依照正常地溫梯度加熱的地下水，湧至地面形成溫泉者，在其相對泉溫的地下深度，必也有地下水容易流動和貯存的厚層透水性地層存在。

2、化學成分的來源：岩崎岩次（1970）認為溫泉中成分的來源可分為固體、液體和氣體等三種：

- a) 固體源：包括各種岩石、土壤、火山昇華物、鹽類、礦床、生物等。
- b) 液體源：包括天水、地表水、地下水、海水、地層水、化石水、岩漿水等。
- c) 氣體源：火山氣體、地層內因變質作用或交代現象等地球化學反應所生成的氣體、生物代謝所產生的氣體等。

這些固體成分或流體，在溫泉水的流動，及與圍岩接觸的過程中被混入、吸附、離子交換、沉澱或化學反應，而進入溫泉水中。

依上述，溫泉從形成到地表為人類所利用，須具備三條件：

1. 地下必須有熱水存在：地下深處若要有水，就必須有多孔隙的含水層。其溫度高低則視含水岩層的深度及當地的地溫梯度而定。地溫梯度又與熱源的種類有關，熱源大體分三類：第一類為存在地下僅 5~10 公里深而未冷卻之火山岩漿庫或侵入岩體，這種熱源所形成的地溫梯度較正常的地溫梯度超過三倍以上，即每深入地下 1 公里，溫度即上升 90°C 以上。第二類熱源為隆起之地函，係地殼板塊運動所引起，造成的地溫梯度可能 2~3 倍於正常值，即

每深入地下 1 公里，溫度上升 $60^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$ 間。第三類熱源為正常地溫梯度，即每深入地下 1 公里增溫 30°C 。另如有深長裂隙在導引熱水上升，同樣可形成高溫溫泉。

2. 必須有靜水壓力差導致熱水上湧：造成靜水壓力差的方式可能有下列數種：

- a) 因冷熱水密度不同產生壓力差，促使熱水上湧形成溫泉。
- b) 深部熱水多數含有氣體，這些氣體隨熱水上升後由於壓力漸減而逐漸膨脹，益發減輕熱水密度而利於熱水上湧。
- c) 在高山深谷地形配合下，谷底地面水位可能要較高山之地下水水位低得多，因此谷底可能為靜水壓差最大處，故熱水由谷底上湧的可能性最大。溫泉多發生於山谷中的河床上便是這種道理。
- d) 適當的地質構造所造成的靜水壓，如自流井，亦可能使深部地下水上湧形成溫泉。
- e) 在新造山運動帶，地槽沉積物受到擠壓，原含水分有向外逃逸趨勢，此時若有裂隙上下貫穿，水分即可上升形成溫泉。

3. 岩石中須有深長裂隙供熱水通達地面：裂隙本身雖無力驅使熱水上升，但可提供熱水上升之通路，其最大功用在於將深部熱水提升至地表附近而利於開發。在正常地溫梯度下，裂隙僅需縱深 1.2 公里即可造成中低溫溫泉，如深達 3 公里以上則有形成高溫溫泉之可能。

1. 火山岩區的溫泉成因

火山岩區的溫泉熱源，主要是來自岩漿。在火山活動的地區，尤其是年輕（第四紀）的火山，地底下有岩漿庫可提供大量的熱源。而火山噴發時所形成的火山碎屑岩，或是火山劇烈活動對岩層產生爆破作用，形成豐富的裂隙和斷層；此時若有地表水，就可能滲入地下深處，被加熱形成高溫的溫泉或蒸氣，且水可吸收大量的火山氣體成分，形成富含各種離子的溫泉。圖五十二是火山岩區溫泉形成的示意圖。

2. 沉積岩區的溫泉成因

沉積岩區的溫泉基本上較少，除非溫泉水是來自地殼較深處。其熱源主要是地溫梯度較深的熱——地表的天水滲入地下後，在地殼深處被加熱成熱水，儲存於地底下的含水層。然後

藉由各種地質作用上湧至地表。

以台灣為例，中崙和關子嶺兩處溫泉，其組成的岩層是上新世的泥岩和泥質砂岩，膠結度差，不太可能有深長延續的裂隙通到地殼深處（深度可能超過 2-3 公里），以供熱水上湧至地表；其是因台灣造山運動，中央山脈快速地隆起，侵蝕大量的沉積物堆積在沉積盆地內，形成高壓的地層環境，高的地壓迫使地層熱水沿著裂隙上升至地表而形成溫泉。

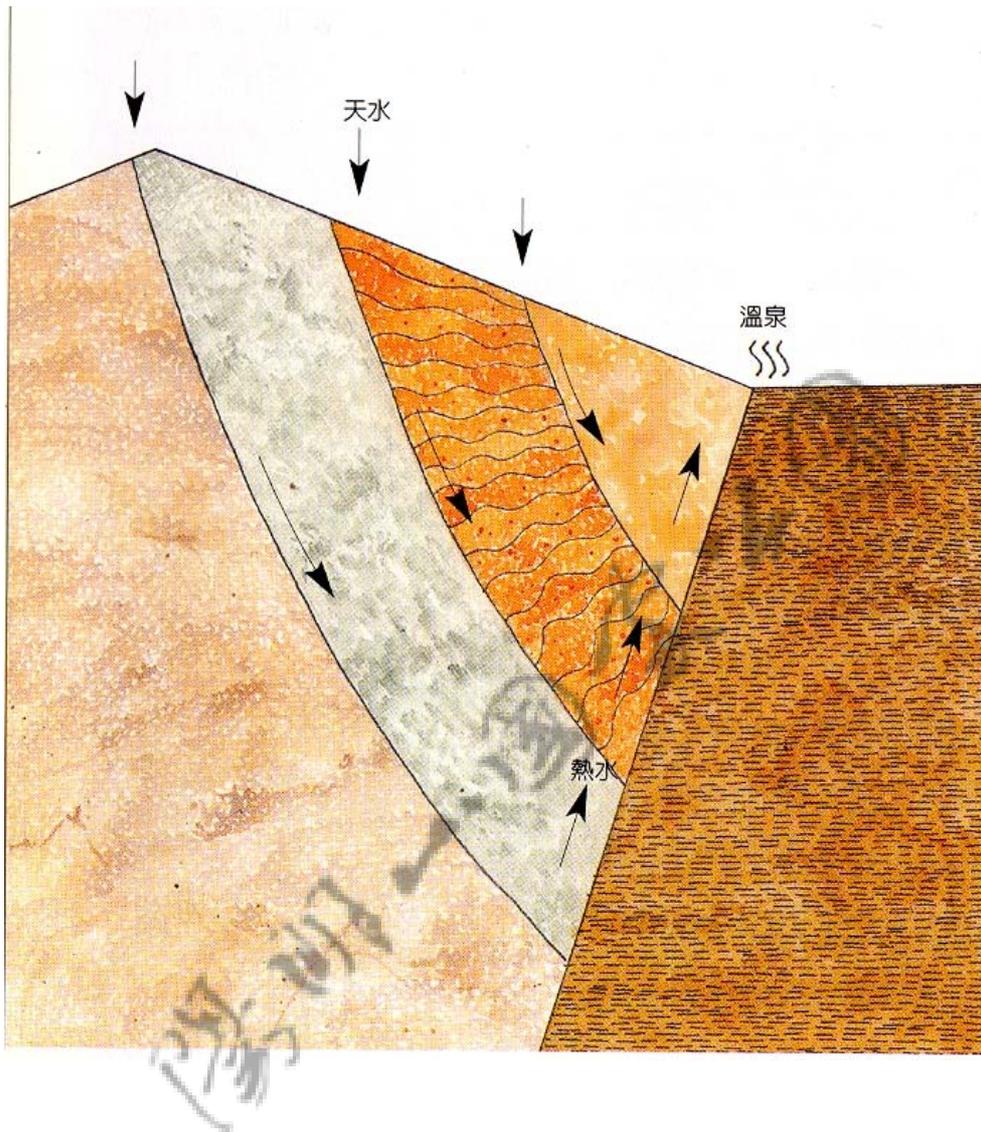
另外的成因是新的地層底下有老的重要地質構造通過，地下熱水沿此構造裂隙上升，然後穿過新的、疏鬆的地層到達地表而形成溫泉。宜蘭礁溪溫泉即是老的斷層被新的現代河流沖積扇沉積物所覆蓋，熱水沿著老的斷層裂隙上湧至沉積物底下，然後與沉積物中的地下水混合，形成豐沛的礁溪溫泉。圖五十三是沉積岩區溫泉形成的示意圖。

3. 變質岩區的溫泉成因

變質岩區的溫泉熱源，主要來自於高的地溫梯度。以台灣為例，台灣位處歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的聚合邊界，造山運動劇烈，地殼抬升速率高，每年可達 5 公厘以上，部分地區甚至每年達 20 公厘；而岩層是熱的不良導體，高溫的地殼抬升至淺處，而岩層無法快速散熱，於是就累積了多餘的熱量於地殼淺處，形成高的地溫梯度——每公里上升 45-60°C，較全球平均地溫梯度每公里 30°C 高出甚多。

由於中央山脈有高的地溫梯度存在，加上高山峻嶺的地形配合，谷底的地面水位較高山中的地下水位低很多，於是在谷底形成了相當高的靜水壓力差；而變質岩區的節理、片理、劈理等裂隙特別發達，因此，中央山脈變質岩區的溫泉大都發生在山谷河床中，如山脈東側的花蓮二子山、瑞穗、紅葉、知本、金峰和金崙溫泉等，以及南橫公路沿線的寶來、石洞、高中、桃園、梅山、新武和霧鹿等溫泉。圖五十四是變質岩區溫泉形成的示意圖。

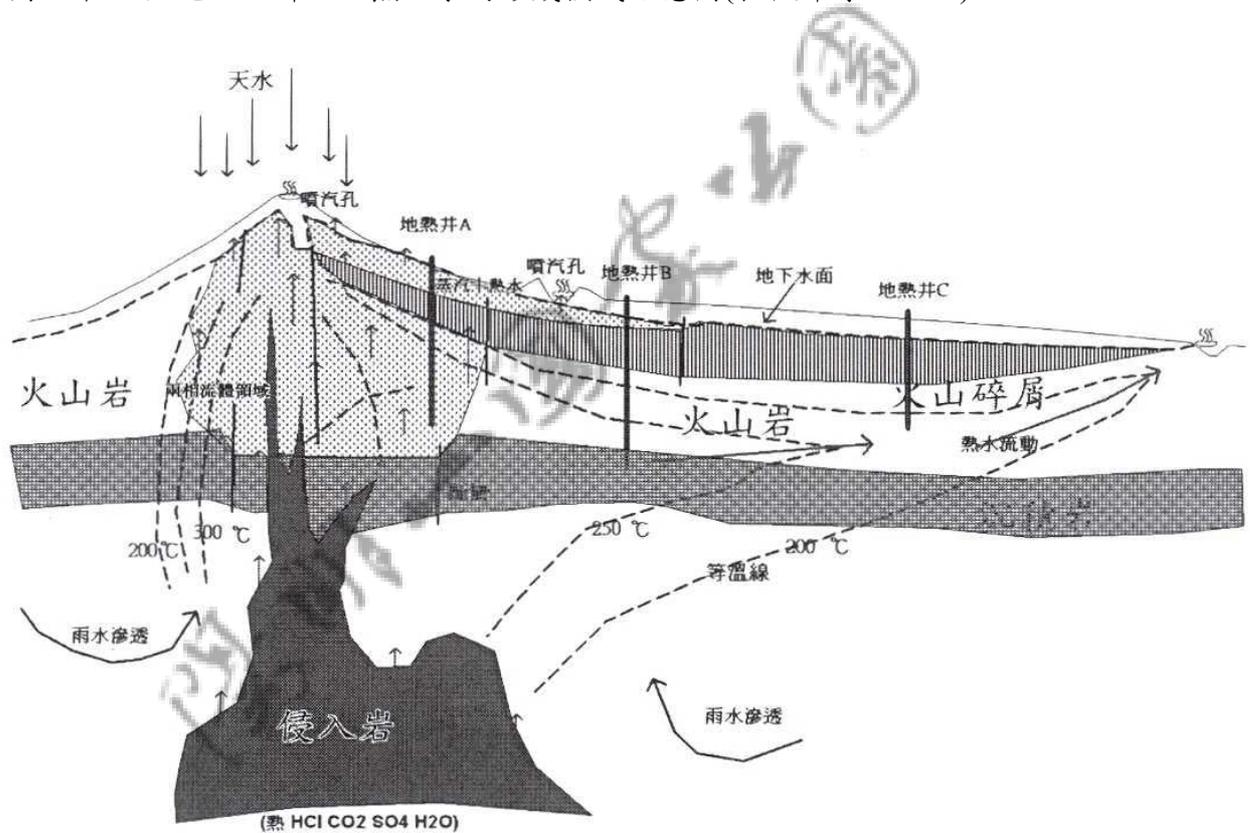
圖五十四：變質岩區溫泉形成示意圖。



第二節 陽明山國家公園內的溫泉成因

大屯火山群陽明山國家公園內的地熱溫泉成因，主要有程楓萍等人(1987)利用鑽井和地表觀察資料，以及參考國外溫泉成因模式所提出的形成模式，如圖五十五所示。但此一形成模式並未能解釋何以大屯火山群內的溫泉包括有酸性硫酸鹽泉、中性碳酸鹽泉和酸性硫酸鹽氯化物泉等三種。

圖五十五:大屯火山群之地熱溫泉的形成模式示意圖(程楓萍等，1987)。



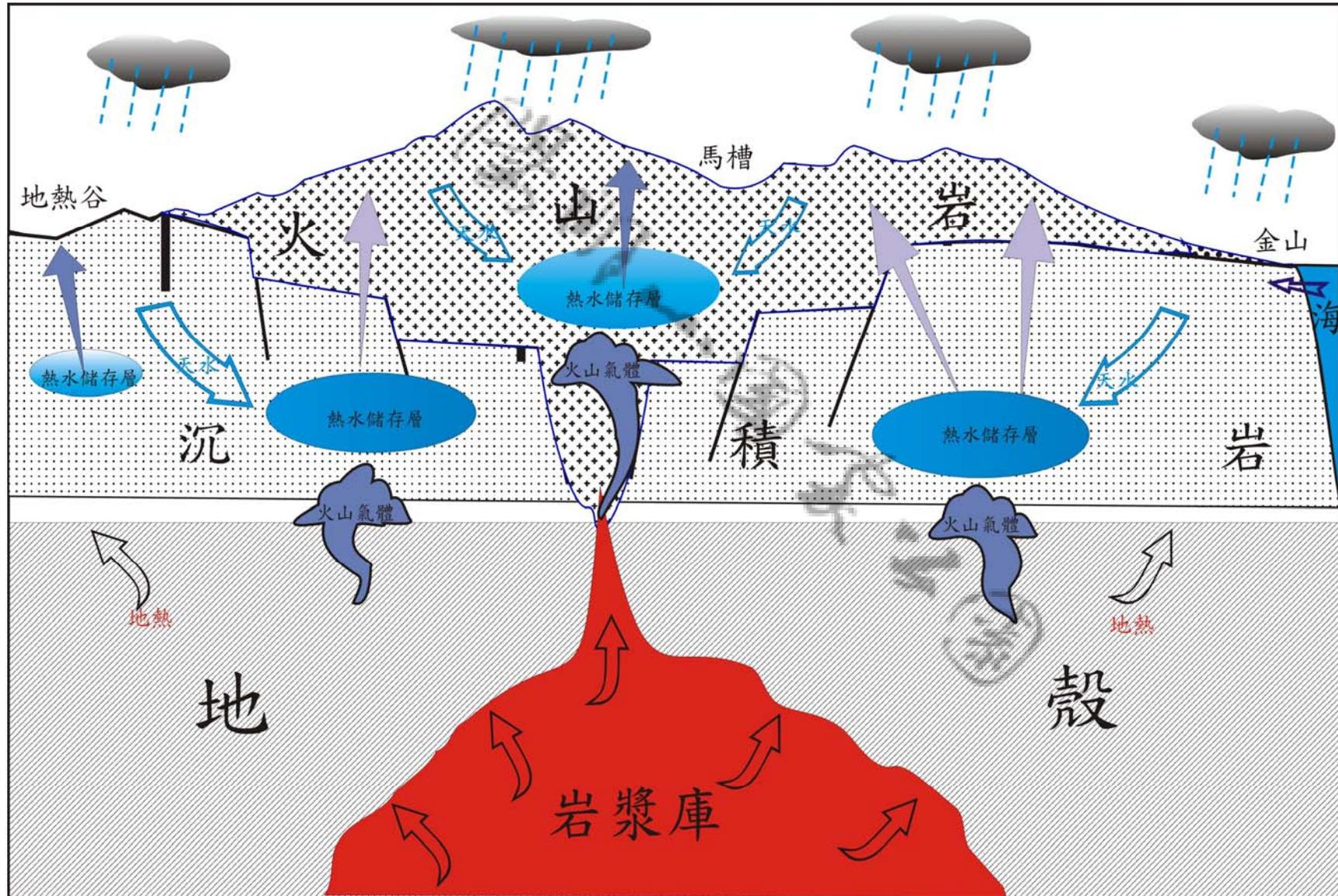
陳耀麟(2002)在他的博士論文中，利用研究大屯火山群中不同種類溫泉之主要元素和同位素，以及天水(主要是河水)的分析資料，建構大屯火山群溫泉之形成模式，如圖五十六所示。其雖有考慮大屯火山群中沉積岩層和火山岩層之溫泉的成分不同，溫泉的形成因素可能也不同，但似乎還稍嫌簡略。

本文綜合考慮沉積岩區出露的溫泉和火山岩區出露的溫泉，其在主要化學成分和同位素分析值有很大的不同，如硫同位素值。位於沉積岩區的地熱谷和金山地區的分析值相當高， $\delta^{34}\text{S}$ 約從+24.5~+26.1(‰)，比火山岩地區中的硫同位素值($\delta^{34}\text{S}$ 約從+0.8~+7.8(‰))高出甚多，顯現沉積岩區的溫泉水來源，受岩漿庫中的火山氣體或岩漿水的影響甚小，其主要的溫泉水來源可能是天水滲入地下後，受到來自於岩漿的地熱影響，加熱形成高溫的溫泉水，並與地層中的滷水混合，且把存在於沉積岩層中的黃鐵礦溶解(台灣西部漸新世的五指山層和早中新世的木山層中含有大量的黃鐵礦)，形成高硫同位素值的溫泉水。另外，位於金山和大埔地區的溫泉水，可能有海水入侵混合。

位於火山岩區的溫泉，從主要元素的化學成分又可細分為，以含硫酸根離子為主的酸性硫酸鹽泉，和以含碳酸根離子和硫酸根離子的中性碳酸鹽泉。這兩種溫泉水的硫同位素值都偏低($\delta^{34}\text{S}$ 約從+0.8~+7.8(‰))，顯現出來自於岩漿中的火山氣體或岩漿水的特徵。故其成因可能主要是天水降下地面滲入地底後，在地底下的水儲存層中接收到來自於岩漿中的火山氣體或岩漿水，以及高溫的地熱，混合加熱所形成的溫泉水。其中，酸性硫酸鹽泉的熱水儲存層，可能位於以粗顆粒石英為主的五指山層或是木山層中，溫泉水和周圍的沉積岩圍岩雖有化學反應發生，但沉積岩中的石英並不會把酸性的溫泉水中和成中性的溫泉，且也未有其他陽離子成分，如鈣、鎂和鐵等離子，可以與硫酸根離子結合形成過飽和濃度，沉澱含硫酸根礦物以減低溫泉水中的硫酸根離子濃度，所以當其有裂隙管道可讓溫泉水湧在地表時，也未有足夠時間可與上覆火山岩進行化學中和反應，故噴出之溫泉水還是保持著地底深處沉積岩層熱水儲存層的化學特性。

火山岩區的中性碳酸鹽泉的熱水儲存層，可能位於以火山岩為主的地層中，火山岩為以含有斜長石、紫蘇輝石、普通輝石和角閃石為主的安山岩。溫泉水和周圍的安山岩圍岩可進行快速的化學反應，其中安山岩中的斜長石，可以和由天水吸收火山氣體或和岩漿水混合形成的酸性熱液(高溫的溫泉水)反應，把酸性的溶液中和成中性的熱水，且由斜長石中所釋放出來的鈣離子，會與溶液中的硫酸根離子結合成石膏沉澱下來，並減低溶液中的硫酸根離子濃度，這可由大屯火山群熱水換質區域中有大量的石膏沉澱被發現而得到驗證。故本研究所提出的大屯火山群溫泉形成模式如圖五十七所示。

圖五十七:大屯火山群之地熱溫泉的形成模式示意圖(本研究)。



第七章 溫泉使用現況和變遷

第一節 溫泉使用現況

溫泉使用現況調查因本計畫經費有限，人力不足以進行大規模的調查，故本計畫的資料來源是水利署、陽明山國家公園管理處和台北市政府等機關的研究報告，以及本計畫的隨機調查比較所獲得的結果，結果統計如表 7-1。

表九：溫泉使用現況分析統計表

溫 泉 區	營業或公用 使用戶數	經 營 模 式	溫 泉 設 施
A. 硫磺谷	1	泡湯結合餐飲或單純泡湯。	個人池、大眾池、水療池及三溫暖等。
B. 行義路區 (含龍鳳谷)	23	泡湯結合餐飲或單純泡湯。	個人池、大眾池、水療池及三溫暖等。
C. 雙重溪	5	泡湯結合餐飲或單純泡湯。	個人池、大眾池
D. 頂北投區 (含湖山里、鼎筆橋、小 隱潭)	11	泡湯結合餐飲、公用。	個人池、大眾池
E. 陽明山區 (含陽明路、中山樓)	20	溫泉飯店、旅館、溫泉餐廳、公共浴室及機關或單位招待所。	個人池、大眾池
F. 冷水坑區 (含菁山路一帶)	5	泡湯結合餐飲、渡假村、公共浴室。	個人池、大眾池
G. 小油坑區 (含竹子湖地區)	1	本區溫泉僅竹子湖湖田里社區公共浴室利用。	本溫泉區無商業利用
H. 馬槽區 (含七股、鹿角坑地區)	6	泡湯結合餐飲	個人池、大眾池
I. 四磺坪	15	溫泉飯店、旅館、溫泉餐廳、公共浴室。	個人池、大眾池
合計	87		

(A) 硫磺谷

由台北市自來水事業處鑽鑿地熱井後引水注入加熱而成，供應北投及天母地區居民約 376 戶使用。

(B) 行義路地區

行義路溫泉區和龍鳳谷溫泉位在惇敘高工東方，供應二十餘家分佈在南磺溪沿岸及北投區行義路附近之溫泉業者使用，業者以經營泡湯及餐飲為主，其中並有卡拉OK、水療、泡茶、咖啡、三溫暖、按摩等服務，成為都會區假日熱門之休息去處。

表十：110

編號	用戶名稱	經營型態	土地權屬	溫泉水質	主要設施	地址
1	紗帽山	餐廳附設浴室	公有	溫度=37°C，pH=2.3 EC=538 μ s	個人池：24間 大眾池：2座	紗帽路42號
2	天仁農莊	餐廳附設浴室	私有	溫度=65°C，pH=3.55 EC=719 μ s	個人池：25間 溫泉井2孔	行義路155巷38號
3	景德鎮溫泉餐廳	餐廳附設浴室	私有	溫度=48°C，pH=6.1 EC=538 μ s	個人池：21間 大眾池：2座	行義路200巷1樓
4	春夏秋冬溫泉餐廳	餐廳附設浴室	公有	溫度=43°C，pH=6.0 EC=538 μ s	溫泉井3孔 大眾池：3座	行義路260巷18號
5	驛湯溫泉餐廳	餐廳附設浴室	私有	溫度=42°C，pH=5.2 EC=746 μ s	個人池：18間 大眾池：2座	中山北路七段219巷
6	依豆溫泉餐廳	餐廳附設浴室	公有	溫度=44°C，pH=4.9 EC=266 μ s	個人池：24間 大眾池：2座	行義路238號
7	草山文化溫泉餐廳	餐廳附設浴室	私有	溫度=56°C，pH=3.2 EC=755 μ s	個人池：28間 大眾池：2座	行義路260巷1號
8	天祥溫泉餐廳	餐廳附設浴室	公私有	溫度=65°C，pH=2.1 EC=6.42ms	個人池：20間 大眾池：2座	行義路260巷15號
9	椰林溫泉餐廳	餐廳附設浴室	公有	溫度=41°C，pH=2.72 EC=538 μ s	個人池：12間 大眾池：2座	行義路269號
10	湯世代溫泉餐廳	餐廳附設浴室	公有	溫度=48°C，pH=3.5 EC=651 μ s	大眾池：2座	行義路298號
11	湯屋	一般浴室	公有	溫度=50°C，pH=3.6 EC=738 μ s	個人池：31間 溫泉井2孔	行義路296-2號
12	皇池溫泉美食館	餐廳附設浴室	公有	溫度=42°C，pH=5.7 EC=262 μ s	個人池：13間 大眾池：2座	紗帽路42-1、2號
13	川湯	一般浴室業	公有	溫度=56°C，pH=2.23 EC=4.96ms	個人池：18間 大眾池：2座	行義路300巷10號
14	御之湯	餐廳附設浴室	公有	溫度=42°C，pH=4.3 EC=593 μ s	個人池：18間 大眾池：2座	行義路300巷346號
15	湯瀨溫泉餐廳	餐廳附設浴室	私有	溫度=52°C，pH=4.2 EC=511 μ s	個人池：15間 大眾池：2座	行義路300巷1號
16	櫻崗山莊餐館	一般浴室	私有	溫度=45°C，pH=4.7 EC=354 μ s	個人池：18間 大眾池：2座	行義路300巷3號1、2樓
17	湯廬	餐廳附設浴室	公有	溫度=46°C，pH=2.6 EC=2.44ms	個人池：26間 大眾池：2座	紗帽路40-6號
18	集客溫泉餐廳	餐廳附設浴室	公有	溫度=47°C，pH=5.1 EC=523 μ s	個人池：8間 大眾池：2座	行義路300巷5號
19	天美溫泉	餐廳附設浴室	公有	溫度=39°C，pH=3.1 EC=1312 μ s	個人池：8間	行義路348號
20	巴登溫泉美食會館	餐廳附設浴室	公有	溫度=50°C，pH=3.42 EC=652 μ s	個人池：23間 大眾池：1座	行義路412號
21	楓林溫泉餐廳	餐廳附設浴室	公有	溫度=38°C，pH=3.9 EC=461 μ s	個人池：15間	行義路400號
22	天長地久溫泉餐廳	餐廳附設浴室	公有	溫度=46°C，pH=4.7 EC=459 μ s	個人池：13間 大眾池：2座	行義路402巷13號
23	磺溪嶺溫泉餐廳	餐廳附設浴室	公有	溫度=50°C，pH=3.94 EC=592 μ s	個人池：19間 大眾池：2座	行義路402巷15號

資料來源：工研院能資所, 2005

(C) 雙重溪溫泉

本溫泉區位在惇敘高工東方，主要供應南磺溪沿岸餐廳使用。

(D) 頂北投地區

本溫泉區位於雙重溪北面，南磺溪上游山谷內，陽投公路環繞於側。是陽明山國家公園特別景觀區及自來水水源所在地。溫泉營業用戶以餐廳附設浴室及一般浴室業為主，主要分佈在北投區紗帽路、泉源路、湖山路及湖底路一帶。

鼎筆橋以下南磺溪河谷因有溫泉自谷底兩岸湧出，因此溫泉浴池密集分佈於溪谷中，有臺北市政府闢建的媽祖窟公共浴室，亦有民眾自行組成會員共同出資建成的浴室，如自強池、長春池、竹子腳池等；亦有由餐廳闢建經營，如龍鳳谷溫泉餐廳、青泉谷溫泉餐廳、風凰谷小吃店（觀音池）等，因河谷腹地狹小，餐廳或溫泉設施極為簡陋凌亂，經使用過後的溫泉廢水未經處理而任意排放，造成沿河下游嚴重污染，連帶使下游溫泉業者所使用溫泉水品質受到嚴重的影響。舍、滿庭芳餐廳、來旺餐廳、七窟溫泉餐廳、新紅屋小吃店及湖山小鎮等溫泉水源來自南磺溪支流紫明溪溫泉露頭；湖山國小使用之溫泉露頭位在運動場地下，校方接管引至蓄水池後再抽取供使用。

(E).陽明山地區

中山樓溫泉位於中山樓區內，泉源有中山樓左側溪谷、革命實踐研究所前方水池及其東側河谷。引用者有中山樓、革命實踐研究所、陽明山公共浴室（男、女各一池）、國際大飯店、中國麗緻大飯店、溫泉餐廳、機關或公司單位招待所、宿舍及湖濱大廈與附近居民。溫泉輸送管線有些為明管，也有些則為埋設於地下之暗管，由於使用溫泉水歷史悠久，新舊管線相當複雜。

表十一：陽明山溫泉區現有溫泉使用調查成果表

編號	用戶名稱	經營型態	土地權屬	溫泉性質	主要設施	地址
24	東山溫泉	餐廳、浴室	私有	溫度=50℃，pH=4.3 EC=553 μ s	個人池：9間 大眾池：1座	凱旋路61巷4弄33號
25	後花園溫泉餐廳	餐廳、浴室	公有	溫度=36℃，pH=6.5 EC=307 μ s	個人池：14間	華岡路59巷5-1號
26	竹內農藝園	餐廳、浴室	公有	溫度=41℃，pH=2.0 EC=12ms	個人池：3間 大眾池：2座	紗帽路82號
27	中國麗緻大飯店	旅館、餐廳、	私有	溫度=47℃，pH=5.9 EC=918 μ s	個人池：33間 大眾池：2座	格致路237號

陽明山溫泉、地熱資源與利用調查

		浴室				
28	台銀招待所	餐廳、浴室	公有	溫度=48°C, pH=6.5 EC=1840 μ s	個人池:18間 大眾池:2座	
29	台北國際商銀員工訓練中心	餐廳、浴室	公有	溫度=52°C, pH=6.2 EC=1520 μ s	個人池:24間 大眾池:2座	
30	聯勤陽明山招待所	餐廳、浴室	公有	溫度=52°C, pH=7.5 EC=1640 μ s	個人池:36間 大眾池:2座	陽明山路1段12號
31	梅湖餐廳	浴室附設餐廳	公有	溫度=45°C, pH=7.2 EC=1706 μ s	個人池:10間	湖底路26-1號
32	陽明山前山公園男公共浴室	浴室	公有	溫度=47°C, pH=6.3 EC=1203 μ s	溫泉井:2口 男大眾池:1座	建國街7-1號
33	陽明山前山公園女公共浴室	浴室	公有	溫度=43°C, pH=6.7 EC=1356 μ s	溫泉井:2口 男大眾池:1座	紗帽路臨108-1號
34	湖山餐廳	浴室附設餐廳	公有	溫度=65°C, pH=2.9 EC=4.92ms	個人池:4間 大眾池:2座	湖底路56號
35	台大宿舍	浴室	公有	溫度=61°C, pH=6.2 EC=1480 μ s	個人池:8間 大眾池:2座	
36	國際大飯店	旅館、餐廳、浴室	公有/ 私有	溫度=75°C, pH=6.0 EC=1140 μ s	個人池:48間 大眾池:2座	湖山路一段7號
37	六窟溫泉餐廳	浴室附設餐廳	私有	溫度=65°C, pH=2.9 EC=4.92ms	個人池:25間 大眾池:2座	湖底路81號
38	櫻園溫泉餐廳	浴室附設餐廳	私有	溫度=65°C, pH=3.6 EC=2.5, ms	個人池:6間	湖底路83號
39	陽明山公園駐警室	浴室	公有	溫度=60°C, pH=6.8 EC=1930 μ s	個人池:26間	
40	國家公園警察大隊	餐廳、浴室	公有	溫度=52°C, pH=6.5 EC=1810 μ s	個人池:16間 大眾池:2座	
41	中國童子軍陽明山露營地	餐廳、浴室	公有	溫度=55°C, pH=7.1 EC=2140 μ s	個人池:2間	
42	市長公館	浴室	公有	溫度=58°C, pH=6.6 EC=1880 μ s	個人池:2間	
43	竹子湖測候所	浴室	公有	溫度=40°C, pH=3.4 EC=1.82ms	個人池:1座	

資料來源：工研院能資所, 2005

(F).冷水坑地區

冷水坑溫泉位於七星山夢幻湖東方 300 公尺，除供應陽明山國家公園冷水坑公共浴室外，另有玩逃小鎮、菁山小鎮、松園溫泉餐廳及陽明山國家公園委託經營的櫻花溫泉度假村等餐廳利用此泉源。

表十二：冷水坑溫泉區現有溫泉使用調查成果表

編號	用戶名稱	經營型態	土地權屬	溫泉性質	主要設施	地址
44	玩逃小鎮	餐廳附設浴室	私有	溫度=54°C, pH=4.1 EC=553 μ s	個人池:8間 大眾池:2座	菁山路119-2號
45	菁山小鎮	餐廳附設浴室	私有	溫度=41°C, pH=4.0 EC=538 μ s	個人池:12間 大眾池:2座	菁山路101巷67-1號
46	櫻花溫泉度假村	餐廳、浴室	公有	溫度=47°C, pH=3.4 EC=1327 μ s	個人池:18間	菁山路101巷71弄16號
47	松園溫泉餐廳	餐廳附設浴室	私有	溫度=47°C, pH=5.9 EC=918 μ s	個人池:12間 大眾池:2座	菁山路101巷160號
48	陽明山國家公園(冷水坑遊客中心)	公共浴室	公有	溫度=41°C, pH=6.5 EC=1.79ms	大眾池:2座 (男女各1座)	菁山路101巷175號

(G).小油坑地區

小油坑溫泉位於七星山西北坡，距陽金公路 600 公尺，本區溫泉接管至公共浴室僅供竹子湖湖田里社區民眾泡湯，不提供外人使用，浴室為木造房屋，各有男女浴池一座。

表十三：小油坑溫泉區現有溫泉使用調查成果表

編號	用戶名稱	經營型態	土地權屬	溫泉性質	主要設施	地址
49	湖田里社區公共浴室	一般浴室	公有	溫度=42°C，pH=3.7 EC=1.45ms	大眾池：2 座	竹子湖路（湖田國小旁）

資料來源：工研院能資所, 2005

(H).馬槽地區

馬槽溫泉位於馬槽溪溪谷中，在陽金公路西南側上游者為馬槽溫泉，陽金公路東北側下游者為七股溫泉，使用範圍包括：馬槽山水園、松柏閣、日月農莊、馬槽花藝村等溫泉餐廳。

表十四：馬槽溫泉區現有溫泉使用調查成果表

編號	用戶名稱	經營型態	土地權屬	溫泉性質	主要設施	地址
50	馬槽山水園	餐廳附設浴室	私有	溫度=50°C，pH=3.1 EC=2.16ms	個人池：8 間 大眾池：2 座	竹子湖路 210 號
51	松柏閣	餐廳附設浴室	公有	溫度=40°C，pH=6.3 EC=941 μ s	個人池：24 間 大眾池：3 座	竹子湖路 214 號
52	日月農莊	餐廳附設浴室	私有	溫度=47°C，pH=2.4 EC=4.51ms	個人池：25 間 大眾池：2 座	竹子湖路 211 巷 8 號
53	陽明山國家公園馬槽管制站	浴室	公有	溫度=44°C，pH=4.5 EC=540 μ s	個人池：2 間 大眾池：1 座	竹子湖路 211 巷 2 號
54	馬槽溫泉農場	餐廳附設浴室	公有	溫度=36°C，pH=6.5 EC=307 μ s	個人池：14 間 大眾池：2 座	竹子湖路湖田里 90 號
55	花藝村	餐廳附設浴室	私有	溫度=57°C，pH=2.6 EC=3.35ms	個人池：30 間 大眾池：6 座	竹子湖路 251 巷 18 號

資料來源：工研院能資所, 2005

(I) 四礮坪

位於大台北華城東南方 500 公尺處，主要為天籟會館及陽明國家山莊社區居民使用，戶數大致估計最少約有 15 家。

其他溫泉如胡宗南墓溫泉、後山溫泉、翠林橋溫泉、大油坑溫泉、磺溪溫泉、下七股溫

泉、八煙溫泉和庚子坪溫泉等則無使用紀錄。



第二節 溫泉使用變遷

在很早以前，台灣的原住民和漢人就知道開採，並且利用硫磺作為洗澡的材料，部份地區的居民，也會利用溫泉做為天然露天的浴場，為台灣地區最早使用溫泉的地方之一。而北投和冷水坑的溫泉利用，是大屯火山群最大的資源開發。冷水坑溫泉日據初期日本人除了在當地使用外，另外還開鑿磺坪下方長約一公里的隧道，將馬槽溪上源的豐沛溫泉水，藉著管線引導經蔬菜專業區運送至山豬湖及山仔后等處供住家及旅館使用。在現今的冷水坑兩間溫泉浴池，是民國八十一年由陽明山國家公園管理處興建的，但此處在日據時期，日本人發現溫泉時，曾以天然土石圍成一約二十餘坪的天然溫泉浴地，後因七星山山坡下岩壁崩毀，面積縮小，光復後尚有登山客使用，至國家公園成立前後，有一退伍軍人夫婦於此處搭一簡易寮舍，除販賣簡易餐飲外並提供溫泉洗浴，故往昔此處稱為阿公阿婆店。除上述三處溫泉源頭外，位七股山側的馬槽溪上源有系列的噴氣孔、崩崖及眾多的溫泉源頭，這些溫泉則被圍堤匯集供現今馬槽、七股等後山地區的民眾及旅舍使用，使馬槽地區成為國家公園內另一個重要的溫泉鄉。

六〇年代由於石油及世界能源危機，各國都在積極尋找新的替代能源。大屯火山群因後火山活動，擁有豐富高溫的溫泉和噴氣孔活動頻繁等，顯示地底下蘊含豐富的地熱能源，遂為當時經濟部能源與礦物研究所選用為地熱能源探勘實驗場所。能礦所於是在現今中湖戰備道往夢幻湖重道交叉路口旁附近，設置一間地熱研究所，擁有地熱實驗室乙棟（該址現已塌陷一半，只剩遺址），從民國五十八年起至六十二年間在北投大磺嘴、中湖戰備道旁、冷水坑停車場及菁山自然中心附近等地區，共開鑿了十餘口地熱井，最深曾達地底下一千六百多公尺。並為了利用探勘井噴出的地熱蒸氣，曾於現今夢幻湖停車場處設置熱帶園藝花卉、蔬菜作物等的試驗溫室及木材乾燥試驗室等，期將大屯火山群豐沛的地熱能源充分利用。惟因地熱中含有過多的酸性硫磺氣體，造成地熱井套管鋼管管壁和實驗場所的快速腐蝕，加上石油危機解除，於是於七〇年代後期地熱井的利用就漸趨沒落了，最後不得不放棄。

大屯火山群從早期的樸實無華，鹿群悠遊至清朝各種礦產資源開發，日據溫泉利用，光復後地熱探勘，到現在全民的溫泉泡湯熱，使溫泉的資源利用再次蓬勃發展。過去，泡湯是上流階層的休閒活動，平民百姓只有羨慕的份。光復後，泡溫泉去掉了階級色彩，普及化後，大量的破壞溫泉自然景觀，使得溫泉湧出地常被任意套接管線，各種PVC管線互相交疊穿插，

陽明山溫泉、地熱資源與利用調查

相當凌亂。陽明山國家公園的成立，對於園區內的溫泉資源，花費相當的人力物力去管理，使大屯火山區的溫泉利用得以減少人為不當開發的破壞。

西元 1999 年（民國八十八年）週休二日實施後，島內旅遊風氣方興。另外，交通部觀光局與台灣溫泉協會推動「台灣溫泉觀光年」，提供一般大眾遊客另一種選擇，去享受溫泉泡湯的樂趣，於是溫泉餐廳、溫泉浴室、SPA 理療館和溫泉旅館等紛紛設立，強調休閒養生，於是溫泉的發展又進入另一個階段。大屯火山群的地熱溫泉資源相當豐富，希望陽明山國家公園管理處，能對源源不息的地熱和溫泉資源，好好的規劃開發利用、管理與保育等工作，使得台灣一般大眾不僅能享受溫泉泡湯的樂趣，也能體會大自然的恩賜，以感恩的心境面對大自然的一切，愛護台灣這一塊土地。

第八章 結論與建議

第一節：結論

- 1、陽明山國家公園內的溫泉分布共有 25 處，主要是沿著金山斷層的兩側分布，自北而南依次為大磺嘴、雙重橋、頂北投、龍鳳谷、行義路、湖山、鼎筆橋、陽明路、小隱潭、陽明山、中山樓、胡宗南墓、後山、冷水坑、竹子湖、小油坑、馬槽、磺溪、七股、下七股、大油坑、八煙、翠林橋、四磺坪和(火庚)子坪等。
- 2、陽明山國家公園內的地熱資源主要蘊藏於基盤巨厚的五指山砂岩層內，該地層厚度最少有一千公尺。五指山砂岩層自大屯火山群南方的新北投向東北方向延伸到金山海邊，其南北兩端都有五指山層的出露，中間地帶則逐漸深陷，並且被厚層的火山岩體所覆蓋。由於這一深部儲存層的存在，在地面上形成一條長約 18 公里、寬約 3 公里、成東北走向的地熱帶，貫穿火山群的中部，呈現最少十幾處的地熱徵兆區，以及廣泛的熱水換質區域，這些地熱活動主要以馬槽和硫磺谷地區為中心，圍繞七星山、紗帽山、磺嘴山、大尖後山等分布，形成一個面積達 36 平方公里的地熱田。
- 3、陽明山國家公園內的溫泉和氣體大都呈強酸性，且溫度高，對安山岩的蝕變作用甚大，同時噴氣孔所含 H_2S 與 SO_2 氧化水解後也形成強酸(H_2SO_4)，對安山岩的腐蝕更為強烈，又地表淺部已有之硫磺、硫化鐵氧化後也可能形成強酸，亦增加安山岩之蝕變作用，種種原因促使安山岩遭受強烈的熱水換質作用，故陽明山國家公園內、尤其是地熱活動強烈的區域，熱水換質區域遍佈各溫泉區和曾有噴氣孔活動的地區。
- 4、陽明山國家公園內的溫泉主要為後火山活動所形成的，來自地底下深處的高溫岩漿所釋放出的高溫氣體，被地殼淺處的地下水所吸收，形成高溫和強酸性的溫泉水，為陽明山國家公園內溫泉與台灣其他地區溫泉的最大不同處。因火山氣體含有豐富的硫化氫和二氧化硫氣體，被地下水吸收後溶解於水中，形成高濃度的硫酸根離子，故陽明山國家公園內的溫泉大都屬於酸性硫酸鹽溫泉。五指山層砂岩

內含有豐富的黃鐵礦和地層鹵水，吸收來自於地底下的岩漿熱和從地表滲透下來的地下水，使黃鐵礦溶解和地層鹵水混合，形成酸性硫酸鹽氯化物泉。另外，酸性硫酸鹽溫泉會和安山岩發生中和反應，使其變成中性的碳酸鹽溫泉。

- 5、本研究計畫針對陽明山國家公園內 9 個溫泉點：硫磺谷、鼎筆橋、湖山、冷水坑、馬槽、七股、大油坑、八煙和四磺坪等九個溫泉，每月採取一個樣本，以監測陽明山國家公園內各溫泉系統的水質和水化學隨季節(主要為乾季和雨季)的變化。因監測的時間短數據有限，每月所量測的資料雖有變化，但很難據此推斷控制變化的可能因素，若有可能未來應該做長期的監測研究。
- 6、陽明山國家公園內溫泉地熱的成因，主要是受控來自於地底下深處岩漿的熱和火山氣體、五指山層砂岩內的黃鐵礦和地層鹵水、降雨循環往下的天水和覆蓋其上的安山岩岩體等。
- 7、過去陽明山國家公園內溫泉地熱系統的使用方式，包括有浴場洗澡的用水、地熱發電、熱帶園藝花卉、蔬菜作物等的試驗溫室及木材乾燥試驗室。民國八十八年週休二日實施後，交通部觀光局與台灣溫泉協會推動「台灣溫泉觀光年」，於是溫泉餐廳、溫泉浴室、SPA 理療館和溫泉旅館等紛紛設立，強調休閒養生，溫泉的發展又進入另一個階段。

第二節：建議

建議一

規劃開發利用溫泉計畫：立即可行建議

主辦機關：台北市政府

協辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

陽明山國家公園內的溫泉資源相當豐富，而今年七月一日溫泉法已正式公佈實施，陽管處應利用此一絕佳機會，對源源不息的溫泉資源，好好的規劃開發利用、管理與保育等工作，使得台灣一般大眾不僅能享受溫泉泡湯和休閒養生的樂趣，也能體會大自然的恩賜，以感恩的心境面對大自然的一切，愛護台灣這一塊土地。

建議二

溫泉教育：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

協辦機關：台北市政府

教育是推廣一般大眾了解大自然、進而愛護自然生態環境的最佳方式。故建議陽管處應在各溫泉景觀區或溫泉露頭設立教育解說牌，以及多舉辦溫泉地熱教育研習的活動，讓一般民眾在欣賞地熱溫泉景觀的同時，也能對他的形成有所了解，進而培養愛護自然生態環境之心。

建議三

溫泉水質監測：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

協辦機關：台北市政府

在規劃開發利用地熱溫泉資源的同時，也應追蹤了解其對自然生態環境的衝擊為何。故建議陽管處應結合台北市政府和各學術機構或民間團體，在陽明山國家公園內設立溫泉水資源的監測站，以追蹤了解溫泉開發利用的同時，對於自然生態環境的影響。初期立即可行的是針對各溫泉點或選擇適當的溫泉點，每一星期或每一個月，至各溫泉露頭用人工方式，攜帶簡易儀器，量測溫泉的水質；包括溫度、酸鹼度、導電度和 TDS

陽明山溫泉、地熱資源與利用調查

等性質量測，並採取水樣，攜回實驗室進行陰、陽離子濃度分析。簡易量測儀器價錢較便宜，陽管處應可自己購買，而陰、陽離子分析儀器價錢昂貴，可與學術單位合作分析之。

建議四

自動溫泉水質監測：中長期建議

主辦機關：台北市政府

協辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

如建議三所述，理想的情況為設立溫泉水質自動監測系統，長期連續的監測溫泉水的水質和化學成分等變化，才能完全掌握影響溫泉水質的變化因素。因間歇取樣對於短期溫泉水質變化，可能無法掌握時效，且因有間斷，對於變化影響因素的掌握，也並不理想。

建議五

自動溫泉水質監測：中長期建議

主辦機關：台灣電力公司

協辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處、學術機關

陽明山國家公園內的地熱資源是全台灣溫度最高、蘊藏量最豐富的地區。目前化石能源(石油、天然氣、煤等)價格飆漲，京都議定書界定排放二氧化碳的議案，可能在不久的將來也會通過，當各界都努力在尋找替代能源方案的同時，陽明山國家公園內的地熱資源，在不破壞自然環境的前提下，以及克服材料腐蝕的問題後，似乎可考慮重新規劃開發地熱發電，以供應陽明山國家公園內及鄰近地區。此一方案應先由陽明山國家公園管理處和學術機關，進行地熱潛能的調查研究、和土地開發規劃利用，然後委由台灣電力公司來執行地熱發電的後續開發利用工作。

參考書目

中文部分

- 礦研所 (1969) 大屯火山群地熱探勘工作報告之一，經濟部聯合礦業研究所，報告 90 號。
- 礦研所 (1970) 大屯火山群地熱探勘工作報告之二，經濟部聯合礦業研究所，報告 102 號。
- 礦研所 (1971) 大屯火山群地熱探勘工作報告之三，經濟部聯合礦業研究所，報告 111 號。
- 礦研所 (1973) 大屯火山群地熱探勘工作報告之四，經濟部聯合礦業研究所，報告 126 號。
- 劉康克 (1982) 從氫氧同位素談溫泉的來源，中央研究院地球科學研究所研究報告 73 頁。
- 楊燦堯、李昭興、劉念宗、何孝恆 (1999) 龜山島附近海底熱液氣泡與海水之氮同位素比值及其在大地構造上之意義。地球物理年會長摘要，基隆。
- 楊燦堯 (2000) 陽明山國家公園大屯火山群噴氣之氮同位素比值研究。國家公園學報，10(1), 73-94 頁。
- 宋聖榮、劉佳玫 (2003) 台灣的溫泉。遠足文化出版社，205 頁。
- 楊燦堯、何孝恆、謝佩珊、劉念宗、陳于高、陳正宏 (2003) 大屯火山群火山氣體成份與來源之探討。國家公園學報，13(1), 127-156 頁。
- 工研院能資所 (2005) 「台北市溫泉區地質、資源及使用情形調查分析」總結成果報告書目
台北市政府委託。

英文部分

- Chen, C.H. (1990) Igneous Rocks in Taiwan: Geology of Taiwan Series 1: Central Geol. Surv., M.O.E.A., ROC, 137p. (in Chinese)
- Chen, C-H. and Lin, S.B. (2002) Eruptions younger than 20Ka of the Tatun Volcano Group as viewed from the sediments of the Sungshan Formation in Taipei Basin. *Western Pacific Earth Sciences*, 2, 191-204.
- Chen, C.H. and Wu, Y.J. (1971) Volcanic geology of the Tatun geothermal area, northern Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, 14, 5-20.
- Chen, Y.G., Wu, W.S., Chen, C-H., and Liu, T.K. (2001) A date for volcanic eruption inferred from a siltstone xenolith. *Quaternary Science Reviews*, 20, 869-873.
- Daag, A.S., Dolan, M.T., Laguerta, E.P., Meeker, G.P., Newhall, C.G. Pallister, J.S. and Solidum, R.U. (1996) Growth of a postclimatic lava dome at Mount Pinatubo, July-October 1992: In Newhall C.G. and Punongbayan, R.S. (eds) *Fire and Mud- eruptions and lahars of Mount Pinatubo*, Philippines, 647-664.
- Decker, R. and Decker, B. (1982) Introduction to volcanoes and the Earth's interior. Readings from *Scientific American*, WH Freeman, San Francisco, pp3-5.
- Ma, K.F., Wang, J.H. and Zhao, D. (1996) Three-dimensional seismic velocity structure of the crust and uppermost mantle beneath Taiwan: *J. Physics Earth* 44, 85-105.
- Shaw, H.R. (1980) The fracture mechanisms of magma transport from the mantle to the surface: In Hargraves (1980), 201-254.

- Shieh, Y.N., Cherng, F.P. and Hoering, T. C.(1983) Oxygen and hydrogen isotope studies of meteoric and thermal waters in Taiwan. Special volume, Geol. Soc. China 5, 167-176.
- Simkin, T. and Siebert, L. (1984) Explosive eruptions in space and time: During, intervals and a comparison of the world's active volcanic belts. In:Explosive volcanism: Inception, evolution and hazards. Studies in Geophysics, National Academy Press, Washington D.C., 47-66.
- Smithsonian Institution (1989) Global volcanism 1975-1985. Prentice Hall, New Jersey, 655p.
- Song, S.R., Tsao, S. and Lo, H.J. (2000a) Characteristics of the Tatun Volcanic eruptions, north Taiwan: implications for a cauldron formation and volcanic evolution: J. Geol. Soc. China, 43, 361-378.
- Song, S.R., Yang, T.Y., Yeh, Y.H., Tsao, S., Lo, H.J. (2000a) The Tatun Volcano Group is active or extinct? J. Geol. Soc. China, 43, 521-534.
- Song, S.R., Chen, T.M., Tsao, S., Chen, H.F., and Liu, H.C. (2003a) Lahars in and around the Taipei Basin: Implications for the activity of Shanchiao Fault: (Submitted to Journal of Asian Earth Sciences)
- Song, S.R., Chen, T.M., Tsao, S., Chen, H.F., and Liu, H.C. (2003b) Sedimentation and lithofacies of lahar deposits in Taipei Basin (Submitted to TAO)
- Szakacs, M. (1994) Redefining active volcanoes: a discussion. Bull Volcano. 56, 321-325.
- Teng, L.S. (1996) Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt. Geology, 24, 949-952.
- Teng, L.S., Chen, C.H., Wang, W.S., Liu, T.K., Juang, W.S. and Chen, J.C. (1992) Plate kinematic model for late Cenozoic arc magmatism in northern Taiwan: Jour. Geol. Soc. China, 35, 1-18
- Teng, L.S., Lee, C.T., Liew, P.M., Song, S.R., Tsao, S.J., Liu, H.C. and Peng, C.H. (2004) On the Taipei Dammed Lake: J. Geographical Science 36, 77-100. (In Chinese with English abstract)
- Tilling, R.I. (1989) Volcanic hazards: Short course in Geology, volume 1, 28th International Geological Congress, Washington, D.C., 123P.
- Tsau, P.F. and Lee, T.Q. (1988) Magnetic susceptibility anisotropy of the Tatun Volcan Group. J. Geol. Soc. China 31, 73-86.
- Tsao, S. (1994) K-Ar age determination of volcanic rocks from the Tatun Volcano Group: Bull. Centr. Geol. Surv., 9, 137-154. (in Chinese)
- Tsao, S., Song, S.R., and Lee, C.Y. (2001) Geological implications of lahar deposits in the Taipei Basin. Western Pacific Earth Sciences 1, 199-212.
- UNESCO (1985) Volcanic Emergency Management, 86pp., Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (UNDRO), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), United Nations, New York.

- Walker, G.P.L. (1974) volcanic hazards and the prediction of volcanic eruptions. In: Funnell B.M.(ed) Prediction of geological hazards, Geological Society of London, Miscellaneous Paper 3, 23-41.
- Wang, K.L., Chung, S.L., Chen, C.H., Shinjo, R., Yang, T.F. and Chen C-H. (1999) Post-collisional magmatism around northern Taiwan and its relation with opening of the Okinawa Trough. *Tectonophysics*, 308, 363-376.
- Wang, W.H. and Chen, C.H. (1991) The volcanology and fission track age dating of pyroclastic deposits in Tatun Volcano Group. *Acta Geologica Taiwanica* 28, 1-30.
- Yang, T.F., Sano, Y., and Song, S.R. (1999) $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio of fumaroles and bubbling gases of hot springs in Tatun volcano Group, North Taiwan, *Il Nuovo Cimento* 22c, 281-286.
- Yanagi, T., Okada, H. and Ohta, K. (1992) Unzen Volcano- the 1990-1992 eruption: The Nishinippon and Kyushu University Press, 137p.
- Yeh, Y.H. and Chen, K.J. (1991) The study of Chinshan fault – microseismic observation: Report to Hazard Mitigation of National Science Council, p41. (in Chinese)
- Yokoyama, I., Tilling, R.I. and Scarpa, R. (1984) International mobile early-warming systems for volcanic eruptions and related seismic activities, UNESCO (Paris), FP/2106-82-01(2286), 102pp.

「陽明山溫泉、地熱資源與利用調查」期中簡報簽到單

一、時間：94年7月26日(星期二)上午9時30分

二、地點：本處二樓會議室

三、主持人：蔡處長佰祿（羅課長淑英代） 記錄：陳煥森

四、報告單位：國立台灣大學地質學系宋聖榮教授

五、出席：

國立台灣大學地質學系 劉聰桂教授	劉聰桂
國立台灣大學地質學系 楊燦堯教授	楊燦堯
本處詹秘書德樞	外出開會
羅課長淑英	羅淑英
會計室	王淑徵
企劃課	
解說課	蕭淑碧
工務課	
觀光課	董人維
保育課	陳煥森 傅國銘
擎天崗管理站	
小油坑管理站	
陽明書屋管理站	
龍鳳谷管理站	

六、受託單位報告：（略）

七、討論：（略）

八、結論：

(一)、有關評審委員及本處同仁意見請參考修正並請受託單位於三日內盡速至GRB網站登錄相關資料。

(二)、請依合約書規定進度執行本案及辦理撥款事宜。

九、散會。



「陽明山溫泉、地熱資源與利用調查」期末簡報簽到單

一、時間：94年11月29日(星期二)下午2時整

二、地點：本處二樓會議室

三、主持人：蔡處長佰祿（詹秘書德樞代）

記錄：陳煥森

四、出席：

國立台灣大學地質學系 劉聰桂教授	劉聰桂
國立台灣大學地質學系 楊燦堯教授	楊燦堯
國立台灣大學地質學系	宋聖榮
本處楊副處長建源	
詹秘書德樞	詹德樞
企劃課	黃淑珺
解說課	陳惠娟
工務課	
觀光課	
保育課	叢培芝 傅國銘 陳煥森
擎天崗管理站	羅淑英
小油坑管理站	呂理昌
陽明書屋管理站	
龍鳳谷管理站	
建管小組	
會計室	
人事室	
政風室	

秘書室	
-----	--

六、受託單位報告：（略）

七、討論：

八、結論：

（一）有關評審委員及本處同仁意見請參考修正，並請受託單位儘速至GRB網站登錄相關資料。

（二）委託研究報告書請依「內政部研究計畫作業要點」格式修正。

（三）委託研究報告書修正後送管理處審查通過後，再核撥經費。

（四）委託研究報告完成後，請轉成國家公園學報格式投稿，並通知本處備查。

（五）研究報告中所選定為溫泉採集地點之採樣分析表格等資料，請受託單位提供相關檔案，以利轉入本處自然資源資料庫系統，供生物多樣性與環境長期監測參考。

（六）有關建議事項中建立溫泉水資源監測站部分，請受託單位再詳列監測方法、取樣頻度、監測項目等細項內容，俾利本處參辦。

九、散會。