

國立台灣博物館委託專題研究計劃報告

大屯火山區溫泉水中主要及微量化學成分研究

主持人：國立台灣大學羅煥記教授

執行期程：民國 91 年 4 月 1 日起至 12 月 31 日

第一章 前言

1-1 研究緣起

大屯火山區為台灣本島唯一火山景觀保存完整之地區，同時後火山活動在本區仍相當活躍，提供了民眾許多自然資源如火山地形景觀、溫泉及噴氣孔等。每逢例假日，各地民眾蜂擁進入此大自然園地，享受這大地的恩賜。根據陽明山國家公園遊客人數統計，從民國八十九年度起，每年本區共湧入超過四百萬名遊客，其重要性可見一斑，可說是台灣最具有本土代表性的地方之一。

而從地質科學的角度來看，後火山作用使本區之岩石普遍受到熱液蝕變作用，一方面影響本區溫泉水之化學成分，使得本區有俗稱白磺、青磺及鐵磺等多種溫泉；另一方面造成許多次生礦物及蝕變岩石產生，這些岩石不論在礦物組成、化學成分、膠結程度或顏色上都已與原來之母岩有很大不同。

1-2 研究目的

本計劃將進行岩石與溫泉採樣分析，並探討岩石蝕變作用與溫泉水化學成分之關係。

第二章 工作內容

2-1 工作範圍

大屯火山區分布橫跨台北市、淡水鎮、三芝鄉、石門鄉、金山鄉及萬里鄉等鄉鎮市。但由於溫泉僅分布於金山與崁腳斷層之間，故工作範圍偏重於大屯火山群之東到東南半部。

本區溫泉眾多，酸性硫酸根泉 (acid sulfate spring)、酸性硫酸根氯離子泉 (acid sulfate chloride spring) 及中性碳酸氫硫酸根泉 (acid sulfate spring) 三大類 (顏滄波, 1955; 礦研所, 1969, 1970, 1971, 1973; 張寶堂, 1979; Cherng, 1979; 程楓萍, 1987; 陳肇夏, 1989), 本計劃在三類溫泉中各選取至少兩個較有代表性之溫泉進行研究, 共計八個溫泉點如下:

- (1) 酸性硫酸根氯離子泉：大埔、地熱谷。
- (2) 酸性硫酸根泉：硫磺谷、四磺坪、馬槽、小油坑。
- (3) 中性碳酸氫根泉：湖山、冷水坑。

其詳細位置參見圖 2-1。

而岩石樣本之採集，以換質安山岩為主，另外並採集數點具代表性之新鮮安山岩，以供比較。採樣點之位置包括小油坑、四磺坪、冷水坑、馬槽、硫磺谷 (以上為溫泉採樣點附近岩樣)、七星山、大屯山、大油坑、小觀音山、竹子湖、庚子坪、紗帽山及磺溪頭。每個區域依照其換質程度不同而採集數個樣本不等，其詳細位置參見圖 2-2。

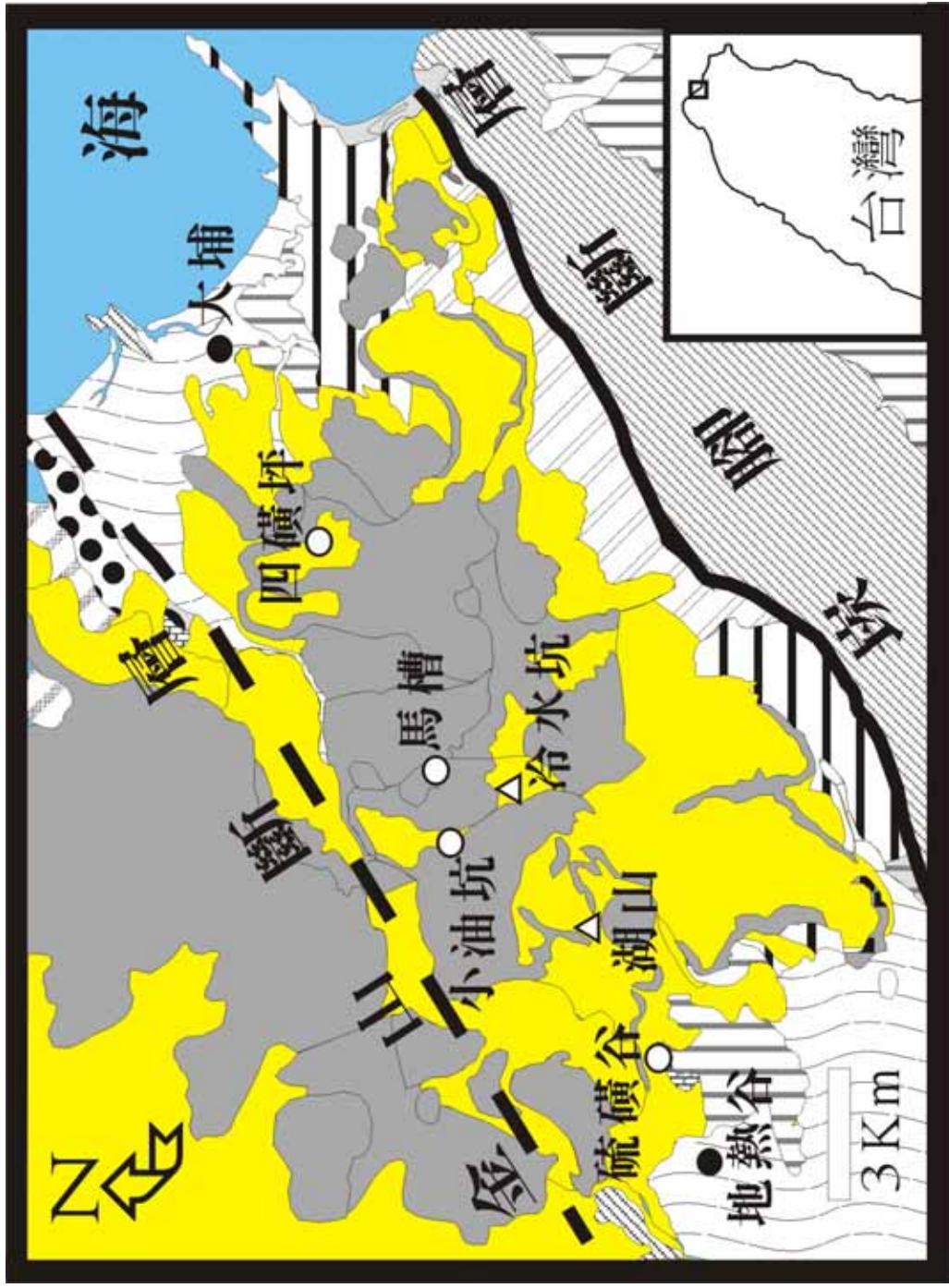


圖2-1：溫泉水採樣分佈圖

- | | |
|--|--------|
| | 全新世堆積物 |
| | 火山碎屑岩 |
| | 火山熔岩流 |
| | 桂竹林層 |
| | 南莊層 |
| | 石底層 |
| | 大寮層 |
| | 木山層 |
| | 五指山層 |

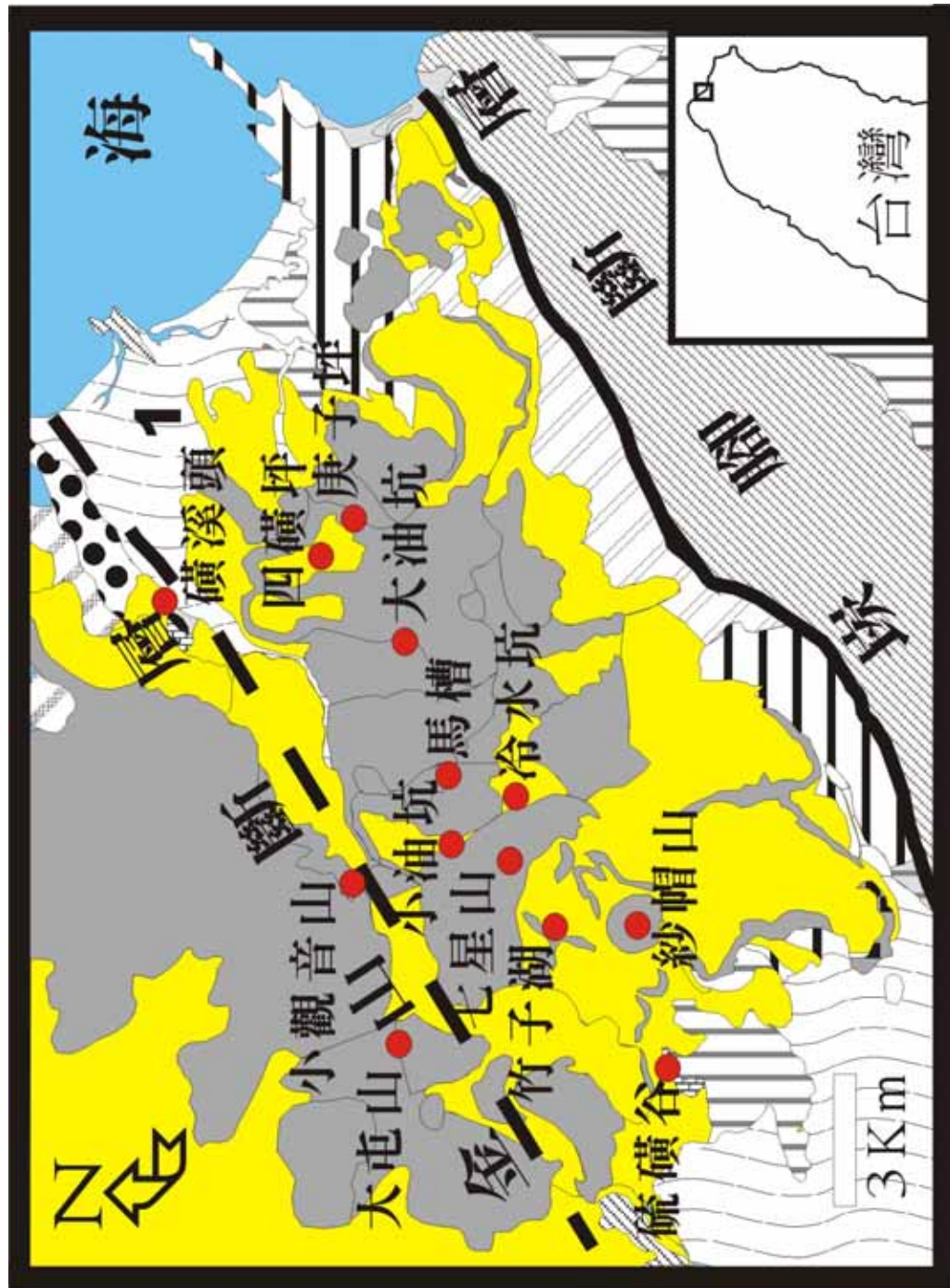
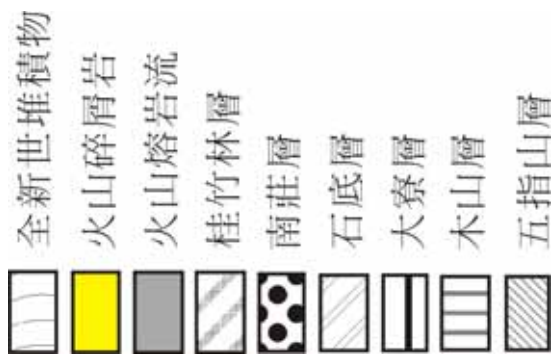


圖2-2：岩石採樣分佈圖



2-2 工作項目

本計劃之研究項目包括溫泉水及岩石兩部分：

(A) 溫泉水部分

1. 現地溫度及酸鹼值測量。
2. 主要化學成分定期分析。
3. 微量化學成分定期分析。
4. 硫同位素資料分析蒐集

(B) 岩石部分

1. 全岩主要化學成分分析
2. 岩石薄片製作及岩象學觀察。
3. 圖像數位化。

2-3 工作流程

本研究從文獻資料蒐集、現地調查選定採樣點、各項分析及岩石標本建立等一系列的工作流程如圖 2-3 所示。

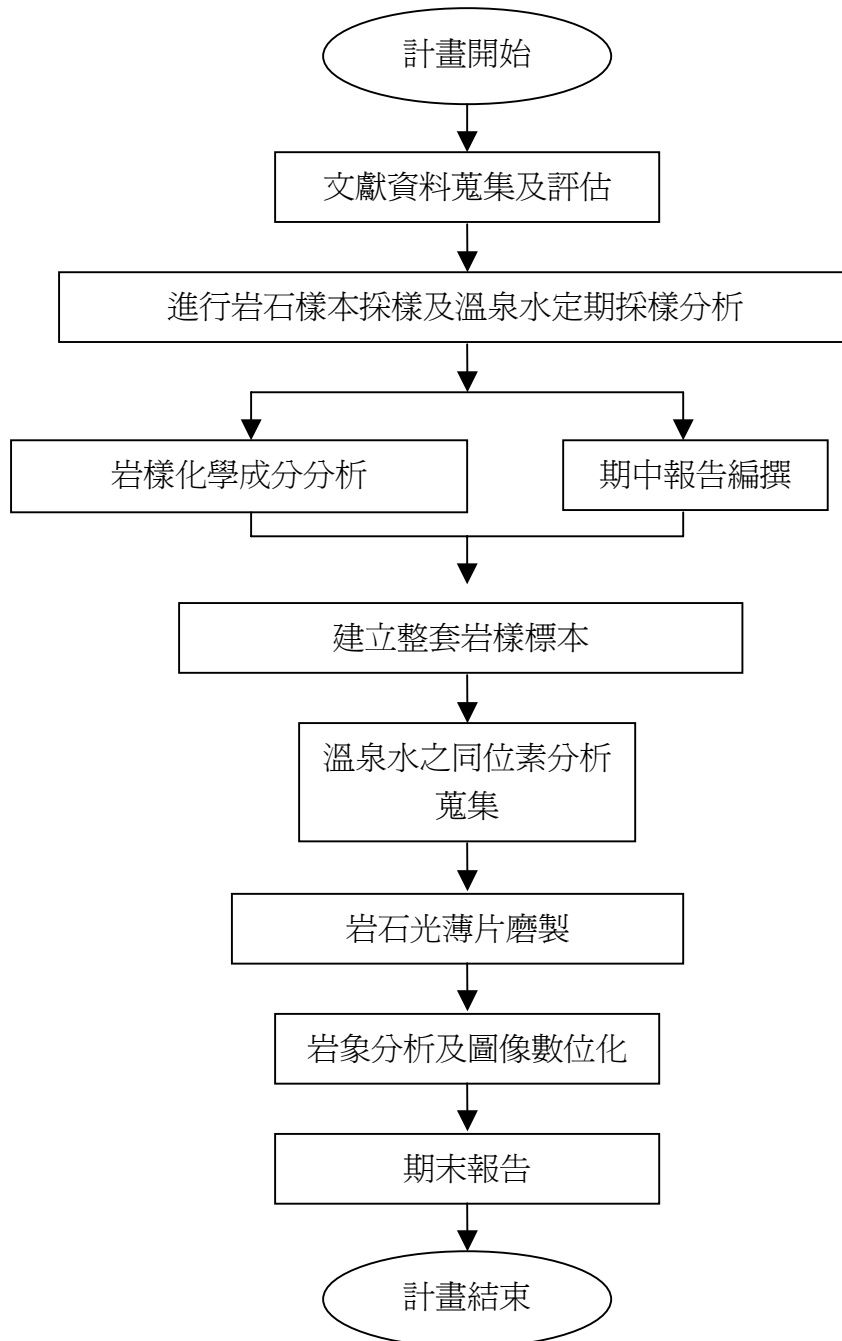


圖 2-3：本研究計畫工作流程

2-4 工作進度

本計劃自民國九十一年四月簽約起開始執行研究工作，依照合約，將於同年十二月底前完成，各工作之階段進度如表 2-1，而各項工作執行達成之情形如表 2-2。

表 2-1：本研究計劃工作進度

		第 一 月	第 二 月	第 三 月	第 四 月	第 五 月	第 六 月	第 七 月	第 八 月	第 九 月
初期 工作	蒐集資料									
	實地勘查並選定溫泉 點及採集岩石樣本									
溫泉水 分析	溫泉水採樣及化學成 分分析									
	溫泉水之同位素分析 蒐集									
岩石 標本 建立	岩石樣本之化學成分 分析									
	岩石樣本之岩象學分 析									
	岩石樣本之圖像數位 化處理									
撰寫 報告	期中報告									
	期末報告並繳交岩石 樣本一套									
	預定進度累積百分比 (%)	8	20	24	40	56	72	88	96	100

表 2-2：計劃執行狀況

		未 執行	執 行 中	執 行 完 成	進 度	備 註
初 期 工 作	蒐集資料			○	100%	
	實地勘查並選定溫泉點及採集 岩石樣本			○	100%	共 8 個溫泉 及 31 個岩石 採樣點
溫 泉 水 分 析	溫泉水採樣及化學成分分析			○	100%	完成 5 至 11 月之分析
	溫泉水之同位素分析蒐集			○	100%	
岩 石 標 本 之 建 立	岩石標本之化學成分分析			○	100%	採集 31 個岩 石標本以蒐 為館藏
	岩石標本之岩象學分析			○	100%	完成 31 片光 薄片
	岩石標本之圖像數位化處理			○	100%	共有 262 張 圖檔

第三章 研究方法及步驟

3-1 溫泉水之研究

本區溫泉眾多，相關研究也很多，然而多數研究皆未有連續性，尤其溫泉水之微量元素則尚無連續性觀測結果。因此本研究進行定期之溫泉採樣，研究流程如下圖：

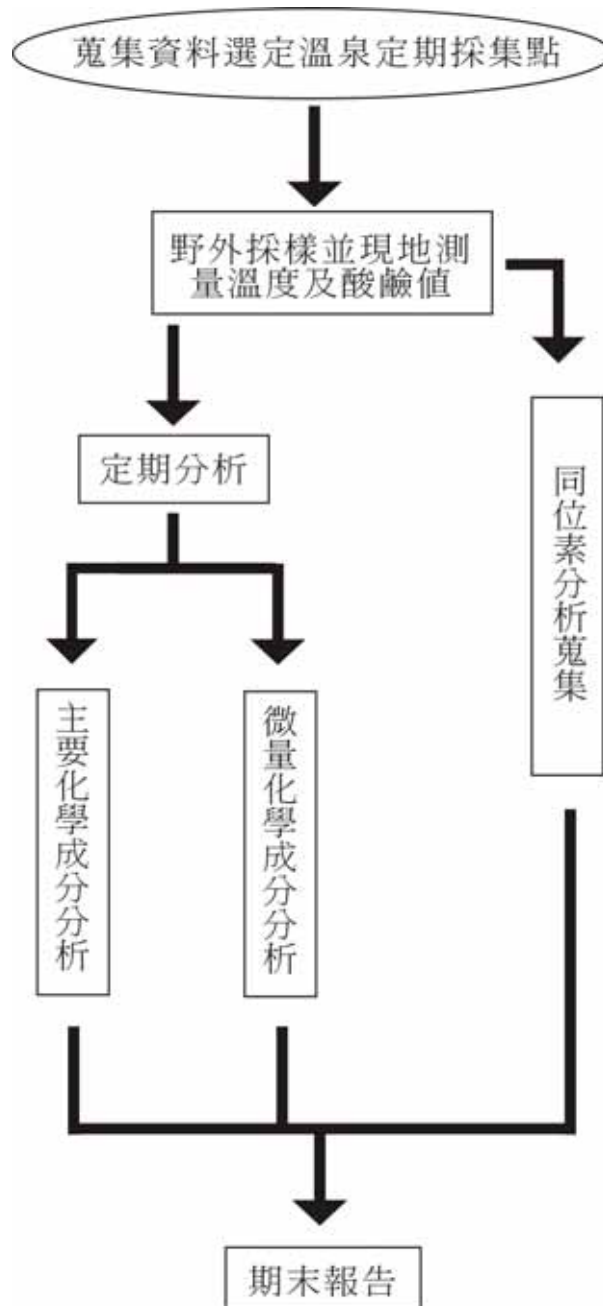


圖 3-1：溫泉水研究流程

3-2 岩石標本之建立

由於大屯火山之後火山作用強烈，因此本區有相當多受熱液蝕變影響之岩石，而目前國內尚無系統性之蝕變岩石標本。有鑑於此，本研究一方面採樣分析岩石之主要化學成分以供討論其與溫泉之關係，另一方面也著手建立一套蝕變岩石標本。岩石標本之蒐集與研究流程如下圖：

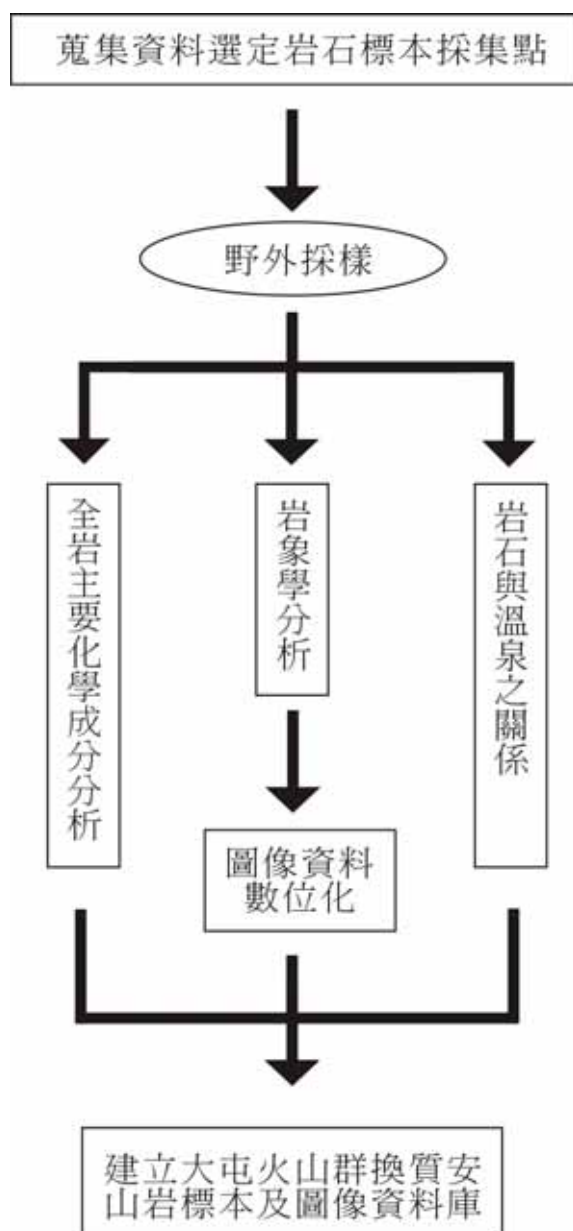


圖 3-2：岩石研究流程

第四章 地質狀況

4-1 大屯火山群噴發史

大屯火山群之定年結果顯示火成活動開始於約兩百四十萬年前，第一次高峰期出現約在一百四十萬年前到一百三十萬年前，之後又沈寂一陣，直至一百萬年前再度甦醒，並在七十萬年前至二十萬年達到第二次高峰期，又約於十多萬年前再度沈寂至今。目前在大屯火山區只殘存了十分活躍的噴氣孔與溫泉等後火山活動。由於大屯火山最後一次噴發距今僅十一萬年（莊文星與陳汝勤，1989），且其本身曾有長達一百萬年及四十萬年的休眠記錄，因此未來大屯火山還要休眠多久仍無法斷定。Song *et al.* (2000) 依據 Szakacs (1994) 對火山活動之定義推測大屯火山為活火山 (active volcano)，因此其再次噴發之可能威脅依然存在。

大屯火山群、觀音山、基隆火山群及台灣東北外海諸火山島等所謂「台灣北部火成岩區」，傳統上被認為是琉球島弧向西之延伸（陳正宏，1990；Juang，1993）琉球島弧的岩漿活動主要是由菲律賓海板塊的隱沒作用所產生，而「台灣北部火成岩區」則同屬隱沒作用下的岩漿產物。但此一岩漿活動受沖繩海槽的張裂影響，阻隔了岩漿的繼續供應，因此停止了海槽後方島弧之岩漿活動。Teng *et al.* (1992) 提出所謂「火山活動停止趨勢線」的說法，推論台灣北部火成岩區的島弧岩漿活動是隨菲律賓海板塊不斷向西隱沒而一一開始，但隨著沖繩海槽不斷向西擴張，岩漿活動也向西漸次停止。在此模式下，大屯火山群未來再發生火山活動的機率相當的低。然而最近有關北部火成岩區之玄武岩地球化學研究顯示其具有洋島玄武岩性質（Chen *et al.*，1999），島弧特性則較少，暗示本區之火成岩可能是板塊內部張裂環境下之產物，但受到些許島弧岩漿物質之影響，Wang *et al.* (1999)

則更進一步指出這些岩漿活動與台灣北部因碰撞作用所生成的造山崩解張裂作用 (extensional collapse) 有關。若按照此一模式來看，則張裂作用正逐漸加強發育當中，本區的火山活動非常有可能再度活躍。

4-2 大屯火山區之地質與構造

大屯火山區大致上東以崁腳斷層，南以淡水河，西與北則以海岸線為界 (見圖 1-2)。本區地表覆蓋第四紀更新世火山活動產物，主要為安山岩質之熔岩流與碎屑岩 (Chen and Wu, 1971)。而火山岩其下則以漸新至中新世沉積岩為基盤，由老而新包括了五指山層、木山層、大寮層、石底層、南港層、南莊層及桂竹林層 (何春蓀, 1986; 黃鑑水, 1998)。

本區處於台灣西部褶皺衝斷帶，主要構造線皆呈北東或北東東走向，兩條最大之構造線為金山斷層與崁腳斷層 (黃鑑水, 1998)。金山斷層北段約沿北磺溪溪谷分布，但幾乎為金山三角洲之沖積層所掩覆，向南可能穿過大屯火山群而與新莊斷層相連。本斷層原為逆衝斷層，斷層面向東南傾斜，層位最大落差超過三千公尺，但在第四紀中期之後，大地應力變成張力狀態，而沿原斷層面轉變為正斷層 (Yang and Chen, 1989)。最近 Chu *et al.* (1998) 更提出金山斷層帶之說法，認為逆衝斷層面以東之許多之正斷層也應屬於金山斷層的一部分。至於崁腳斷層，位於金山斷層之東南，為一規模較大之逆掩斷層，主要走向北 60° 東。北自萬里海岸起，南至台北士林附近為止，長二十餘公里。本斷層東北延伸入海，西端延伸進入台北盆地沖積層底下。斷層上盤為五指山層之下部；下盤由石底層組成，但至台北盆地東北方山區，下盤地首先為大寮層，在接近台北盆地時為木山層，層位落差最大可達二千公尺以上。(黃鑑水等, 1991)。

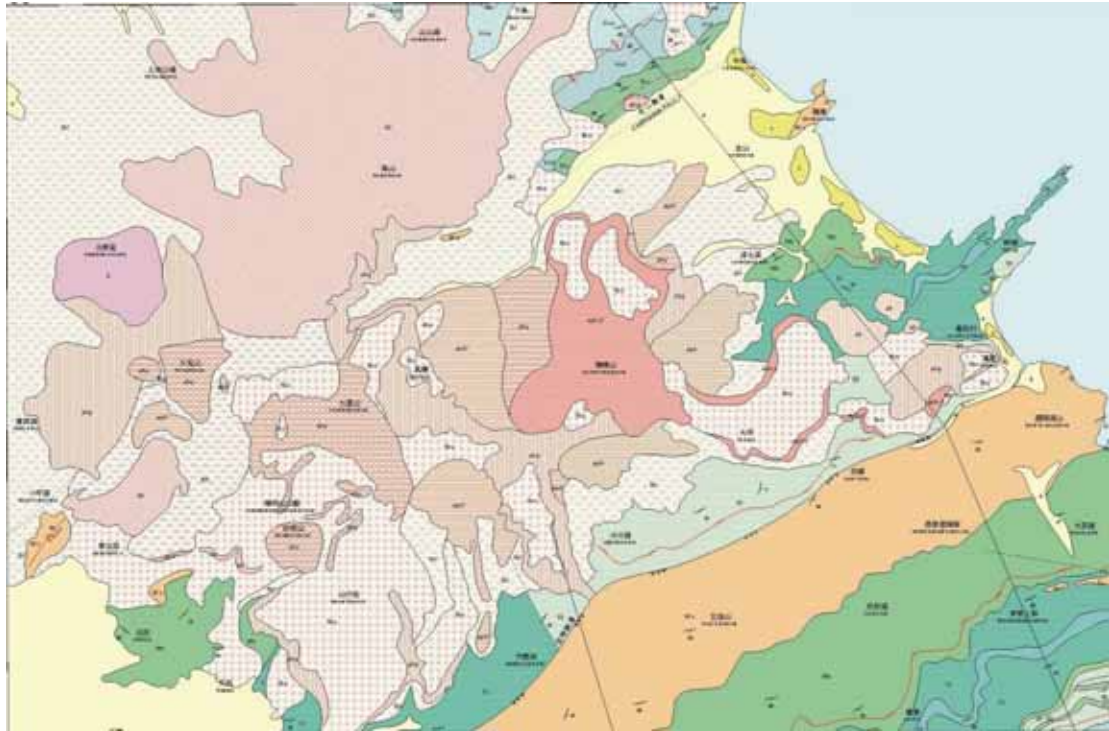


圖 4-1：大屯火山區地質圖（摘自黃鑑水，1998）

以金山斷層作為界線可將大屯火山群之基盤切割成兩個部分，即金山斷層以西地區和金山斷層以東（至崁腳斷層）地區（黃鑑水，1998）。以西地區之沉積岩（現代沖積層除外）多為火山岩所掩蓋，僅在金山沖積平原西側及沿海一帶與尖山湖附近出露。金山沖積平原西側之南莊層呈東北走向，向西北傾角 50° 至 80° ，再往西之沉積岩層則呈現數個褶曲構造，向斜與背斜軸多呈東北走向。而在金山斷層以東地區，地層皆相當規則地呈東北走向，向東南傾斜 15° 至 25° 。在丁火朽與湳子山附近因受火山活動影響，走向變成西北，傾角不一。瑪鍊溪上游地區之石底層受斷層影響走向亦凌亂。雙溪地區之石底與大寮層呈現一平緩之向斜構造，岩層走向自西北轉為東北而至東西。硫磺谷以南到北投以東地區則有明顯之褶曲軸向南傾斜之背斜構造。北投西北之五指山層被斷層所切，斷層以東呈東北走向，向西北傾斜 20° 至 50° ，斷層以西呈西北及東北走向，向西南與東南傾斜 20° 至 50° （Chen and Wu，1971）。

大屯火山群大多屬於層狀火山，共有火山與火山丘二十餘座，火山岩流與凝灰角礫岩層層相疊（圖 1-2）。

(1) 火山岩流

多以厚層熔岩層出露，主要分佈於火山地帶之中央部份，為構成火山之主體。其岩流分布地帶常在海拔高度 200 公尺以上地區。熔岩有灰、黑、紫、淺紅等色，在底部瓷熔岩含輝石較顯著，向上則角閃石漸多。前後噴發共計有十五層以上，岩性多為安山岩類，厚度隨處而異，大部分都在數十公尺，最厚者可達 300 公尺以上。

(2) 凝灰角礫岩

凝灰角礫岩多分布在火山周緣，或覆蓋於火山岩流之上部或夾於其中，厚度變化可從數公尺至 300 公尺以上。此角礫岩為火山碎屑之堆積，由略帶稜角，大小不一之安山岩岩塊，以及顆粒細之凝灰岩、泥砂等夾雜混合構成，一般膠結良好。本地區出露之凝灰角礫岩係分別夾於不同岩流之中，因此角礫岩成份亦隨各層或不同火山而異。根據各地區凝灰角礫岩與各主要岩流之相對層位關係，可以將此凝灰角礫岩分為下部凝灰角礫岩，大屯山凝灰角礫岩，及上部凝灰角礫岩。下部凝灰角礫岩位於主要岩流之下，普遍存在於各火山之附近，表示火山噴發一度極為強烈。大屯山凝灰角礫岩夾於主要岩流之間，分布於大屯山附近。上部凝灰角礫岩位於主要岩流之上，常覆蓋於地形較平緩或岩流之上方。

(3) 五指山層

五指山層出露於北投貴子坑和竹子山腳下等局部地區。貴子坑的五指山層以中粒至粗粒堅硬礫石質白砂岩為主，夾有中至薄層炭質頁岩，並含薄層煤，具大型槽狀交錯層構造及粒級層構造，為三角洲沖積平原及河道的堆積產物。受金山斷層逆衝之影響，形成一西北翼倒轉之背斜，岩層顯得相當破碎。另一方面又受後火山熱水蝕變的影響，使砂岩之膠結疏鬆，昔日曾出現洗選白砂及黏土礦的情景。出

露於竹子山腳下的五指山層，由數個巨大岩塊所組成，常被火山岩所包圍，或是以不整合殘留於桂竹林之上，為金山逆衝斷層作用下的產物。

(4) 木山層

木山層主要出露於本區北投、外雙溪以及金山沖積平原東側。以白色中粒至細粒石英的砂岩為主，呈厚層或塊狀，偶有明顯之交錯層理及暗紅色氧化鐵結核。灰黑色頁岩為另一較發達之岩層，常與砂岩構成互層。本層抗風化侵蝕能力較其他岩層強，故常見陡峭的岩壁，如外雙溪附近，沿著溪谷可以看到相當陡峭的厚層砂岩岩壁，即為本層的出露。砂岩以長石質砂岩為主，有時呈塊狀厚層，多見於本層之中部及底部。頁岩為深灰色或黑灰色，常含有炭質物。砂岩中具有交錯層、波痕等淺水沉積構造，為濱海相的沉積物。

(5) 蝕變安山岩

本區部分安山岩受熱水作用而呈不同程度之蝕變，主要分布在竹子湖至金山間，陽金公路兩側。蝕變安山岩之 SiO_2 達85~95%，實由非晶質蛋白石，低溫鱗石英，與低溫方矽石為主要構成礦物。其成因為安山岩受熱水作用，帶去 CaO ， Na_2O ， K_2O ， Al_2O_3 ， SiO_2 等成份，殘留 SiO_2 成份所致，外觀為多孔質白色，可為玻璃業及陶瓷業之原料。

4-3 大屯火山區之溫泉

大屯火山區之溫泉相當多，根據前人研究（顏滄波，1955；礦研所，1969，1970，1971，1973；張寶堂，1979；Cherng，1979；程楓萍，1987；陳肇夏，1989）之結果，本區溫泉至少有 22 處，依照其出露海拔高度，由低而高依序為金山、大埔、地熱谷、雙重溪、硫磺谷、頂北投、龍鳳谷、八煙、中山樓、鼎筆橋、陽明山、四磺坪、湖山、小隱潭、後山、庚子坪、七股、大油坑、竹子湖、馬槽、冷水坑及小

油坑(圖 1-3),其中金山、大埔及地熱谷溫泉位於沉積岩區,其他溫泉則位於火山岩區。根據這些溫泉水之主要陰離子及酸鹼值,本區溫泉被分成酸性硫酸根泉(acid sulfate spring)、酸性硫酸根氯離子泉(acid sulfate chloride spring)及中性碳酸氫硫酸根泉(acid sulfate spring)三大類。

有關溫泉之成因模式,程楓萍(1987)、王偉光等(1987)及陳肇夏(1989)主要根據鑽井資料及溫泉水化學資料,提出大致相同之解釋,認為五指山層地下熱水、火山氣體及火山岩之蝕變作用為本區溫泉水之主要影響因素。而陳耀麟(2003)更進一步指出本區之溫泉水化學成分空間上之變異的原因主要有二:第一,火山岩區與沉積岩區溫泉水之化學成分供應源不同,火山岩區者主要由火山氣體及火山岩供應,沉積岩區者則主要由火山氣體、沉積岩中之流紋岩塊及地層滲水(金山附近溫泉水尚受海水影響);第二,各溫泉區之火山氣體之流量,母岩之蝕變作用程度以及其礦物組成和比例都因地而異。而時間上之變化主要與天水有關,也就是說不同時間之降雨事件,造成不等量之天水混合作用。

第五章 工作執行報告

本研究之工作主要分成三大部分：(一)溫泉水部分(二)岩石標本部分(三)圖像數位化。目前都已達到預計完成之目標，茲將各項工作的執行狀況詳細分述於下。

5-1 溫泉水部分

5-1-1 溫泉水之化學成分

本研究選定四個酸性硫酸根泉、兩個酸性硫酸根氯離子泉及兩個中性碳酸氫根泉進行定期研究，溫泉之分佈位置如圖 2-1。八個溫泉皆已完成五至十一月採樣分析工作，結果如表 5-1。

從表中可以明顯發現大屯火山區之溫泉水化學成分濃度隨溫泉出露地點(空間)及時間而有明顯差異(表 5-1 及圖 5-1)。一般說來，其最高與最低濃度變化可從數十個百分比到數倍之間。

從主要成分之總平均值來說，出露於沉積岩之上的大埔與地熱谷溫泉(此二者為硫酸根氯離子泉)，其鈉離子濃度(分別為 2575 mg/l 及 759 mg/l)與氯離子濃度(分別為 4151 mg/l 及 3581 mg/l)比其他出露於火山岩之上之溫泉高出許多，其他成分之濃度也通常較高。而出露於火山岩之上者(酸性硫酸根泉及中性碳酸氫根泉兩大類)，主要成分差異在於中性溫泉之 HCO_3^- 濃度(冷水坑與湖山溫泉分別為 222 mg/l 及 617 mg/l)遠高於酸性溫泉(接近零)。另外，火山岩區溫泉之硫酸根濃度明顯高於氯離子濃度，而沉積岩區溫泉恰相反。

而從微量元素之總平均值來看，沉積岩區之大埔與地熱谷溫泉之砷(分別為 2463 mg/l 及 4318 mg/l)、硼(分別為 18789 mg/l 及 24967 mg/l)、溴(分別為 10589 mg/l 及 5076

mg/l) 及鋅 (分別為 5439 mg/l 及 3080 mg/l) 之濃度遠高出火山岩區其他溫泉；而中性溫泉之 Pb、Se、Ti 及 Zn 濃度則在所有溫泉中最低，低於偵測下限。

造成這些變異的原因主要有二：第一，沉積岩區與火山岩區溫泉水之化學成分供應源不同，火山岩區溫泉水主要由火山氣體及安山岩供應，而沉積岩區溫泉水中化學成分由火山氣體、五指山層粗砂岩之流紋岩塊及地層滲水供應 (陳耀麟，2002)；第二，各溫泉之局部地質狀況有明顯差異，從野外之觀察，火山氣體之流量因地不同，各溫泉區所受之蝕變作用程度也不相同，同時各區之母岩組成礦物及比例也有相當差異 (Chen and Wu, 1971; Chen, 1975; 莊文星、陳汝勤，1989)，換言之，前述之來源端成分在各溫泉區之供應比例應不相同，故造成溫泉水化學成分因地而異。

表 5-1：溫泉水之溫度、酸鹼值與化學成分分析

大埔	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	總平均	最大值	最小值	中位數	
pH	3.2	3.0	3.4	2.9	2.8	3.3	3.1	3.1	3.4	2.8	3.1	
Temp(°C)	81	90	83	78	85	85	80	83	90	78	85	
主要成分	Na⁺	2248	2306	2749	2489	2788	2725	2720	2575	2788	2248	2720
	K⁺	292	327	315	278	231	242	233	274	327	231	278
	Mg⁺²	218	237	267	254	241	233	230	240	267	218	237
	Ca⁺²	98.8	105	370	247	311	279	306	245	370	98.8	279
	Fe⁺²	67.5	48.7	106	73.5	90.0	70.8	85.0	77.4	106	48.7	73.5
	Mn⁺²	4.81	3.65	10.7	8.44	9.59	8.57	9.16	7.85	10.7	3.65	8.57
	Al⁺³	64.7	70.1	68.4	76.2	78.9	95.4	86.8	77.2	95.4	64.7	76.2
	Si⁺⁴	183	166	99.4	142	130	136	131	141	183	99.4	136
	Cl⁻	4002	3977	4854	3854	4119	4257	3991	4151	4854	3854	4002
	SO₄⁻²	1107	1238	781	1007	986	1128	1204	1064	1238	781	1107
	HCO₃⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
微量元素	As	2041	1770	2837	2211	2785	2938	2661	2463	2938	1770	2661
	B	17253	18582	22132	19582	17631	18997	17345	18789	22132	17253	18582
	Ba	97.3	90.3	248	186	132	143	249	164	249	90.3	143
	Br	9817	12301	12120	9862	8876	11093	10057	10589	12301	8876	10057
	Cd	28.5	19.9	37.3	31.5	29.3	28.1	35.6	30.0	37.3	19.9	29.3
	Cs	316	194	460	238	274	311	382	311	460	194	311
	Cu	55.8	42.6	44.7	63.2	60.8	71.3	53.5	56.0	71.3	42.6	55.8
	Li	6167	5373	7003	5726	6777	6128	5461	6091	7003	5373	6128
	P	813	692	683	692	720	651	802	722	813	651	692
	Pb	1108	876	957	1061	942	1025	1007	997	1108	876	1007
	Rb	1107	1854	2255	2128	1638	1199	1983	1738	2255	1107	1854
	Se	32.7	38.5	40.2	29.6	33.5	29.4	33.0	33.8	40.2	29.4	33.0
	Sr	1178	1338	936	896	1007	978	1003	1048	1338	896	1003
	Ti	38.6	41.5	33.7	35.0	40.2	29.8	38.5	36.8	41.5	29.8	38.5
	Tl	81.1	58.5	66.4	71.8	67.6	58.8	64.6	67.0	81.1	58.5	66.4
V	123	181	151	173	166	173	182	164	182	123	173	
Zn	6075	4871	4999	5233	6062	5952	4884	5439	6075	4871	5233	

*主要元素之單位為 mg/l，微量元素之單位為 ppb。

*HCO₃⁻之濃度使用滴定法測量，接近於零。

*大埔溫泉屬於酸性硫酸根氯離子泉。

表 5-1 續：溫泉水之溫度、酸鹼值與化學成分分析

地熱谷		五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	總平均	最大值	最小值	中位數
	pH	1.4	1.5	1.5	1.2	1.9	1.6	1.5	1.5	1.9	1.2	1.5
	Temp(°C)	69	78	73	80	72	75	71	74	80	69	73
主要成分	Na⁺	762	713	811	823	756	659	787	759	823	659	762
	K⁺	232	317	296	323	300	328	255	293	328	232	300
	Mg⁺²	59.9	65.7	68.9	60.4	64.5	71.7	59.2	64.3	71.7	59.2	64.5
	Ca⁺²	182	178	230	166	203	189	195	192	230	166	189
	Fe⁺²	59.8	66.2	77.3	65.8	73.8	77.7	64.6	69.3	77.7	59.8	66.2
	Mn⁺²	11.2	9.19	8.55	10.0	9.81	12.5	11.3	10.4	12.5	8.55	10.0
	Al⁺³	105	98.1	89.6	78.4	95.3	98.2	102	95.2	105	78.4	98.1
	Si⁺⁴	94.7	88.1	89.2	86.6	97.2	93.5	100	92.8	100	86.6	93.5
	Cl⁻	3881	3975	3001	3426	3329	3774	3684	3581	3975	3001	3684
	SO₄⁻²	2766	3019	2843	2664	3033	3127	2992	2921	3127	2664	2992
	HCO₃⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
微量元素	As	4783	4233	3986	4330	4523	3983	4385	4318	4783	3983	4330
	B	26779	23555	24595	25002	24933	25091	24816	24967	26779	23555	24933
	Ba	173	223	207	185	146	133	212	183	223	133	185
	Br	4982	4880	5154	5436	4931	4925	5222	5076	5436	4880	4982
	Cd	29.3	31.2	19.4	23.4	21.8	23.5	25.7	24.9	31.2	19.4	23.5
	Cs	423	414	456	503	514	491	478	468	514	414	478
	Cu	8.85	10.3	14.7	7.88	14.5	12.4	9.86	11.2	14.7	7.88	10.3
	Li	4383	4701	4551	4538	4617	4237	4090	4445	4701	4090	4538
	P	725	683	538	621	664	629	594	636	725	538	629
	Pb	1307	1278	1195	1335	1119	1264	1352	1264	1352	1119	1278
	Rb	3002	2827	2466	2823	2577	2531	2904	2733	3002	2466	2823
	Se	55.5	46.3	64.7	44.9	69.5	47.3	53.8	54.6	69.5	44.9	53.8
	Sr	1664	1283	1288	1542	1559	1228	1606	1453	1664	1228	1542
	Ti	40.2	26.5	33.4	29.6	35.1	37.4	34.6	33.8	40.2	26.5	34.6
	Tl	60.3	61.5	57.3	66.2	54.1	71.7	68.4	62.8	71.7	54.1	61.5
V	178	211	202	189	198	206	167	193	211	167	198	
Zn	2991	3127	3335	3190	2983	3051	2882	3080	3335	2882	3051	

*主要元素之單位為 mg/l，微量元素之單位為 ppb。

*HCO₃⁻之濃度使用滴定法測量，接近於零。

*地熱谷溫泉屬於酸性硫酸根氫離子泉。

表 5-1 續：溫泉水之溫度、酸鹼值與化學成分分析

小油坑		五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	總平均	最大值	最小值	中位數
	pH	2.7	3.0	2.8	3.5	3.2	2.6	3.1	3.0	3.5	2.6	3.0
	Temp(°C)	78	81	90	83	77	85	87	83	90	77	83
主要成分	Na⁺	112	98.5	85.6	90.2	62.3	89.5	83.1	88.7	112	62.3	89.5
	K⁺	36.8	27.5	18.0	22.8	28.1	16.7	23.9	24.8	36.8	16.7	23.9
	Mg⁺²	46.3	45.3	60.3	37.1	29.5	44.9	56.2	45.7	60.3	29.5	45.3
	Ca⁺²	217	254	194	233	208	186	195	212	254	186	208
	Fe⁺²	16.2	23.4	9.88	17.0	18.5	17.3	24.1	18.1	24.1	9.88	17.3
	Mn⁺²	3.08	1.77	2.54	1.98	2.62	3.17	2.53	2.53	3.17	1.77	2.54
	Al⁺³	51.2	40.5	58.5	42.8	53.2	39.4	42.4	46.9	58.5	39.4	42.8
	Si⁺⁴	187	201	135	185	164	152	138	166	201	135	164
	Cl⁻	502	473	389	438	605	477	546	490	605	389	477
	SO₄⁻²	984	1054	921	1147	864	1105	1087	1023	1147	864	1054
	HCO₃⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
微量元素	As	23.1	24.6	12.5	8.47	13.0	21.6	15.7	17.0	24.6	8.47	15.7
	B	48.5	62.7	38.7	53.1	42.9	60.2	61.8	52.6	62.7	38.7	53.1
	Ba	38.4	23.8	19.9	34.7	27.0	31.5	24.3	28.5	38.4	19.9	27.0
	Br	238	317	402	274	386	558	195	339	558	195	317
	Cd	1.08	1.42	0.87	0.74	0.62	0.83	0.54	0.87	1.42	0.54	0.83
	Cs	4.89	8.52	1.45	5.34	6.87	8.12	4.25	5.63	8.52	1.45	5.34
	Cu	112	98.6	107	87.5	123	105	95.8	104	123	87.5	105
	Li	18.4	9.25	8.45	14.6	10.5	9.87	16.6	12.5	18.4	8.45	10.5
	P	44.5	53.1	30.2	48.7	43.4	32.6	48.5	43.0	53.1	30.2	44.5
	Pb	7.65	8.24	3.56	2.71	1.09	2.86	5.10	4.46	8.24	1.09	3.56
	Rb	86.3	102	43.8	75.8	92.4	101	44.6	78.0	102	43.8	86.3
	Se	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	-	-	-
	Sr	302	186	152	99.4	92.5	273	284	198	302	92.5	186
	Ti	52.8	47.7	60.9	49.1	48.9	52.0	42.3	50.5	60.9	42.3	49.1
	Tl	0.81	0.73	1.22	0.42	0.31	0.44	0.58	0.64	1.22	0.31	0.58
V	65.3	78.5	71.4	70.5	67.2	48.2	56.8	65.4	78.5	48.2	67.2	
Zn	61.4	66.5	92.0	83.4	77.6	69.8	74.5	75.0	92.0	61.4	74.5	

*主要元素之單位為 mg/l，微量元素之單位為 ppb。

*HCO₃⁻之濃度使用滴定法測量，接近於零。

*小油坑溫泉屬於酸性硫酸根泉。

表 5-1 續：溫泉水之溫度、酸鹼值與化學成分分析

四磺坪		五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	總平均	最大值	最小值	中位數	
	pH	3.2	3.2	3.6	3.2	2.9	3.4	3.3	3.3	3.6	2.9	3.2	
	Temp(°C)	72	74	63	78	68	67	70	70	78	63	70	
主要成分	Na⁺	12.6	14.5	20.9	18.6	26.3	9.34	21.7	17.7	26.3	9.34	18.6	
	K⁺	5.04	6.74	3.76	9.80	10.2	5.44	8.30	7.04	10.2	3.76	6.74	
	Mg⁺²	16.8	15.9	13.3	28.2	30.6	19.4	23.7	21.1	30.6	13.3	19.4	
	Ca⁺²	18.5	17.4	23.9	23.9	31.2	33.3	14.5	23.2	33.3	14.5	23.9	
	Fe⁺²	6.81	4.05	10.1	8.41	6.02	5.00	9.24	7.09	10.1	4.05	6.81	
	Mn⁺²	0.76	0.81	0.67	2.02	1.70	0.66	0.83	1.06	2.02	0.66	0.81	
	Al⁺³	8.93	9.71	6.97	8.94	12.0	11.1	7.37	9.29	12.0	6.97	8.94	
	Si⁺⁴	62.5	59.7	72.4	81.2	72.9	69.3	58.5	68.1	81.2	58.5	69.3	
	Cl⁻	10.6	12.7	7.05	13.4	9.88	12.2	8.79	10.7	13.4	7.05	10.6	
	SO₄⁻²	84.1	108	86.4	126	70.2	91.6	97.5	94.8	126	70.2	91.6	
	HCO₃⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
微量元素	As	1.75	1.88	3.32	2.22	2.46	3.12	3.09	2.55	3.32	1.75	2.46	
	B	121	154	108	97.5	133	126	94.1	119	154	94.1	121	
	Ba	158	162	129	174	178	155	147	158	178	129	158	
	Br	18.4	23.8	33.7	30.5	40.3	12.5	28.6	26.8	40.3	12.5	28.6	
	Cd	1.01	0.69	0.54	0.81	1.24	0.62	1.33	0.89	1.33	0.54	0.81	
	Cs	0.75	1.29	1.52	1.41	1.75	0.88	1.39	1.28	1.75	0.75	1.39	
	Cu	0.87	0.83	0.88	1.42	2.03	1.43	1.72	1.31	2.03	0.83	1.42	
	Li	11.9	9.13	12.8	12.7	7.15	8.25	13.5	10.8	13.5	7.15	11.9	
	P	543	518	441	397	355	422	450	447	543	355	441	
	Pb	1.02	0.83	0.92	0.65	1.20	1.04	0.82	0.93	1.20	0.65	0.92	
	Rb	15.4	16.7	30.7	30.2	18.8	22.2	26.3	22.9	30.7	15.4	22.2	
	Se	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	-	-	-
	Sr	52.0	48.6	65.3	53.2	46.2	37.5	60.6	51.9	65.3	37.5	52.0	
	Ti	23.5	18.9	22.7	28.6	34.5	18.5	21.7	24.1	34.5	18.5	22.7	
	Tl	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	-
V	54.7	56.2	49.5	52.8	60.5	61.8	70.4	58.0	70.4	49.5	56.2		
Zn	22.9	23.8	28.6	30.4	18.5	23.4	18.9	23.8	30.4	18.5	23.4		

*主要元素之單位為 mg/l，微量元素之單位為 ppb。

*HCO₃⁻之濃度使用滴定法測量，接近於零。

*四磺坪溫泉屬於酸性硫酸根泉。

表 5-1 續：溫泉水之溫度、酸鹼值與化學成分分析

馬槽		五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	總平均	最大值	最小值	中位數
	pH	3.1	3.5	3.0	3.6	3.8	3.4	3.3	3.4	3.8	3.0	3.4
	Temp(°C)	77	95	86	81	90	78	91	85	95	77	86
主要成分	Na⁺	17.6	21.0	20.9	18.4	20.7	11.9	12.8	17.6	21.0	11.9	18.4
	K⁺	6.52	6.47	3.28	5.16	3.72	5.11	4.36	4.95	6.52	3.28	5.11
	Mg⁺²	29.5	32.2	25.4	23.4	18.7	25.5	15.9	24.4	32.2	15.9	25.4
	Ca⁺²	46.8	62.3	42.5	35.7	45.0	24.8	51.0	44.0	62.3	24.8	45.0
	Fe⁺²	13.8	9.41	7.23	8.44	10.9	11.8	7.55	9.88	13.8	7.23	9.41
	Mn⁺²	1.34	0.79	0.55	0.77	0.41	0.67	0.41	0.71	1.34	0.41	0.67
	Al⁺³	15.6	13.5	15.2	9.14	13.3	7.09	11.5	12.2	15.6	7.09	13.3
	Si⁺⁴	156	170	146	141	137	126	152	147	170	126	146
	Cl⁻	31.5	24.8	19.6	20.4	18.7	16.2	25.6	22.4	31.5	16.2	20.4
	SO₄⁻²	477	418	421	472	450	473	501	459	501	418	472
	HCO₃⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
微量元素	As	22.5	17.1	16.8	11.4	23.0	17.3	21.4	18.5	23.0	11.4	17.3
	B	53.7	68.2	71.4	53.7	55.3	52.6	48.8	57.7	71.4	48.8	53.7
	Ba	22.7	11.2	13.8	18.4	17.6	20.6	19.2	17.6	22.7	11.2	18.4
	Br	26.8	30.1	24.1	24.5	23.7	18.6	33.3	25.9	33.3	18.6	24.5
	Cd	1.07	0.68	1.06	0.94	1.02	0.82	0.73	0.90	1.07	0.68	0.94
	Cs	7.12	6.49	7.82	9.01	6.57	8.80	7.35	7.59	9.01	6.49	7.35
	Cu	44.7	49.2	62.5	38.4	36.0	29.2	32.6	41.8	62.5	29.2	38.4
	Li	14.2	19.6	26.3	23.7	18.8	31.1	30.5	23.5	31.1	14.2	23.7
	P	38.5	39.6	48.6	50.1	42.8	54.6	36.9	44.4	54.6	36.9	42.8
	Pb	4.78	2.48	2.15	1.87	3.10	4.10	4.53	3.29	4.78	1.87	3.10
	Rb	145	127	120	138	117	152	126	132	152	117	127
	Se	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	-	-	-
	Sr	201	145	171	205	183	176	186	181	205	145	183
	Ti	18.5	16.4	28.8	27.3	34.5	21.7	32.0	25.6	34.5	16.4	27.3
	Tl	0.23	0.70	0.57	0.43	1.01	0.54	0.61	0.58	1.01	0.23	0.57
V	140	100	116	138	131	145	165	134	165	100	138	
Zn	583	718	682	774	520	415	662	622	774	415	662	

*主要元素之單位為 mg/l，微量元素之單位為 ppb。

*HCO₃⁻之濃度使用滴定法測量，接近於零。

*馬槽溫泉屬於酸性硫酸根泉。

表 5-1 續：溫泉水之溫度、酸鹼值與化學成分分析

硫磺谷		五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	總平均	最大值	最小值	中位數
pH		3.3	2.9	3.3	2.8	3.1	3.5	3.0	3.1	3.5	2.8	3.1
Temp(°C)		70	68	63	74	65	65	64	67	74	63	65
主要成分	Na⁺	30.5	26.8	27.1	23.5	30.3	18.6	34.2	27.3	34.2	18.6	27.1
	K⁺	5.07	4.89	5.99	4.60	3.48	4.91	4.65	4.80	5.99	3.48	4.89
	Mg⁺²	17.2	25.3	23.7	17.0	19.2	16.3	21.8	20.1	25.3	16.3	19.2
	Ca⁺²	42.8	59.1	60.7	58.3	59.3	49.4	50.2	54.3	60.7	42.8	58.3
	Fe⁺²	63.5	45.9	72.0	80.3	69.3	78.8	72.5	68.9	80.3	45.9	72.0
	Mn⁺²	0.62	0.59	0.64	0.48	0.64	0.41	0.76	0.59	0.76	0.41	0.62
	Al⁺³	14.0	25.9	16.4	13.6	15.9	18.8	12.3	16.7	25.9	12.3	15.9
	Si⁺⁴	63.4	77.7	56.7	53.0	50.0	58.3	68.4	61.1	77.7	50.0	58.3
	Cl⁻	33.2	43.3	53.0	39.9	48.8	42.5	44.7	43.6	53.0	33.2	43.3
	SO₄⁻²	1316	1299	1573	1422	1385	1110	1407	1359	1573	1110	1385
	HCO₃⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
微量元素	As	25.1	23.8	19.5	18.3	27.5	18.9	18.4	21.6	27.5	18.3	19.5
	B	857	986	1042	1318	1007	955	964	1018	1318	857	986
	Ba	31.0	25.4	35.6	24.0	25.5	30.8	30.5	29.0	35.6	24.0	30.5
	Br	99.5	68.4	81.7	58.4	62.9	73.6	83.3	75.4	99.5	58.4	73.6
	Cd	0.68	0.71	0.39	0.52	0.44	0.49	0.70	0.56	0.71	0.39	0.52
	Cs	3.83	4.05	2.98	3.57	3.64	2.92	5.87	3.84	5.87	2.92	3.64
	Cu	23.5	22.8	19.7	35.3	18.9	16.4	25.3	23.1	35.3	16.4	22.8
	Li	20.0	9.97	15.7	16.3	18.4	16.5	17.2	16.3	20.0	9.97	16.5
	P	39.8	57.2	61.2	47.5	39.1	59.0	42.8	49.5	61.2	39.1	47.5
	Pb	1.80	2.17	1.20	2.11	1.44	1.85	1.76	1.76	2.17	1.20	1.80
	Rb	52.8	39.6	45.6	50.5	48.7	46.6	44.2	46.9	52.8	39.6	46.6
	Se	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	-	-	-
	Sr	195	219	197	180	244	205	266	215	266	180	205
	Ti	15.6	14.4	18.7	15.3	16.3	17.55	13.9	16.0	18.7	13.9	15.6
	Tl	0.58	0.26	0.29	0.38	0.64	0.47	0.10	0.39	0.64	0.10	0.38
V	48.6	51.2	56.0	48.5	64.1	72.9	57.6	57.0	72.9	48.5	56.0	
Zn	56.4	68.8	56.1	73.7	54.0	62.5	43.9	59.3	73.7	43.9	56.4	

*主要元素之單位為 mg/l，微量元素之單位為 ppb。

*HCO₃⁻之濃度使用滴定法測量，接近於零。

*硫磺谷溫泉屬於酸性硫酸根泉。

表 5-1 續：溫泉水之溫度、酸鹼值與化學成分分析

冷水坑		五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	總平均	最大值	最小值	中位數
	pH	5.8	6.1	6.2	5.4	5.1	6.3	5.9	5.8	6.3	5.1	5.9
	Temp(°C)	43	40	41	51	45	39	40	43	51	39	41
主要成分	Na⁺	43.5	63.3	56.1	62.5	51.8	53.2	56.5	55.3	63.3	43.5	56.1
	K⁺	15.4	13.9	14.5	16.4	15.4	9.28	9.33	13.5	16.4	9.28	14.5
	Mg⁺²	53.4	64.0	51.2	62.6	44.7	45.8	53.2	53.6	64.0	44.7	53.2
	Ca⁺²	147	134	126	150	133	152	118	137	152	118	134
	Fe⁺²	0.59	1.01	0.31	0.86	0.51	0.44	0.57	0.61	1.01	0.31	0.57
	Mn⁺²	1.44	1.09	0.86	1.27	1.47	1.21	0.81	1.16	1.47	0.81	1.21
	Al⁺³	0.38	0.61	0.36	0.75	0.61	0.81	0.78	0.61	0.81	0.36	0.61
	Si⁺⁴	89.9	71.4	83.6	120	80.0	104	108	93.8	120	71.4	89.9
	Cl⁻	86.3	57.1	113	109	84.6	90.3	73.5	87.7	113	57.1	86.3
	SO₄⁻²	86.8	95.5	90.4	101	78.9	95.5	91.2	91.3	101	78.9	91.2
	HCO₃⁻	133	130	258	349	117	268	302	222	349	117	258
微量元素	As	1.26	6.87	7.54	3.58	3.07	4.55	5.31	4.60	7.54	1.26	4.55
	B	723	691	596	708	664	527	549	637	723	527	664
	Ba	45.6	54.8	53.1	39.7	65.4	42.4	53.9	50.7	65.4	39.7	53.1
	Br	55.0	62.8	70.1	51.2	63.3	49.5	52.2	57.7	70.1	49.5	55.0
	Cd	0.60	0.54	0.46	0.43	0.28	0.29	0.55	0.45	0.60	0.28	0.46
	Cs	5.18	6.33	7.02	4.76	5.28	4.37	5.43	5.48	7.02	4.37	5.28
	Cu	0.55	0.50	0.81	1.28	1.62	0.54	0.82	0.87	1.62	0.50	0.81
	Li	30.3	26.5	17.7	25.4	19.6	17.8	23.7	23.0	30.3	17.7	23.7
	P	682	738	359	422	603	902	547	608	902	359	603
	Pb	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	-	-	-
	Rb	88.7	85.9	84.5	76.2	68.3	95.5	90.7	84.3	95.5	68.3	85.9
	Se	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	-	-	-
	Sr	653	705	619	587	722	673	540	643	722	540	653
	Ti	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-	-	-
	Tl	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	-	-	-
V	2.16	1.08	3.27	0.87	1.05	2.10	0.99	1.65	3.27	0.87	1.08	
Zn	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	-	-	-	

*主要元素之單位為 mg/l，微量元素之單位為 ppb。

*湖山溫泉屬於中性碳酸氫根泉。

表 5-1 續：溫泉水之溫度、酸鹼值與化學成分分析

湖山	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	總平均	最大值	最小值	中位數	
pH	6.6	7.1	7.3	6.4	6.2	6.8	7.0	6.8	7.3	6.2	6.8	
Temp(°C)	50	45	48	51	46	47	43	47	51	43	47	
主要成分	Na⁺	57.5	73.4	77.2	84.9	63.7	66.6	72.2	70.8	84.9	57.5	72.2
	K⁺	14.5	17.6	21.4	13.5	15.4	20.1	15.8	16.9	21.4	13.5	15.8
	Mg⁺²	68.3	63.1	70.2	49.3	58.6	48.6	58.8	59.6	70.2	48.6	58.8
	Ca⁺²	113	106	127	134	98.5	123	143	121	143	98.5	123
	Fe⁺²	0.06	0.07	0.03	0.11	0.05	0.05	0.12	0.07	0.12	0.03	0.06
	Mn⁺²	0.77	1.03	1.15	1.52	1.63	1.84	0.89	1.26	1.84	0.77	1.15
	Al⁺³	0.11	0.10	0.12	0.08	0.22	0.10	0.09	0.12	0.22	0.08	0.10
	Si⁺⁴	86.7	90.3	83.2	72.8	100	95.7	93.2	88.8	100	72.8	90.3
	Cl⁻	112	103	74.0	85.9	128	90.4	102	99.3	128	74.0	102
	SO₄⁻²	92.1	90.6	93.3	103	86.6	111	85.7	94.6	111	85.7	92.1
	HCO₃⁻	610	711	653	542	802	523	476	617	802	476	610
微量元素	As	8.77	12.0	8.59	9.13	16.5	13.0	13.8	11.7	16.5	8.59	12.0
	B	1064	1234	1028	986	1121	957	1055	1064	1234	957	1055
	Ba	43.6	39.5	56.3	35.8	43.2	48.7	50.2	45.3	56.3	35.8	43.6
	Br	54.2	43.6	50.1	60.0	46.4	47.7	40.5	48.9	60.0	40.5	47.7
	Cd	0.44	0.61	0.57	0.32	1.22	0.82	0.76	0.68	1.22	0.32	0.61
	Cs	5.50	3.83	6.22	7.08	4.26	5.24	5.80	5.42	7.08	3.83	5.50
	Cu	0.61	0.57	0.72	1.03	0.63	0.82	0.91	0.76	1.03	0.57	0.72
	Li	13.5	21.6	17.6	18.2	20.3	15.9	14.7	17.4	21.6	13.5	17.6
	P	205	216	193	182	205	331	154	212	331	154	205
	Pb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
	Rb	96.7	112	125	124	98.3	135	84.3	111	135	84.3	112
	Se	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	-	-	-
	Sr	714	723	550	487	643	670	652	634	723	487	652
	Ti	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-	-	-
Tl	0.20	0.15	0.12	0.18	0.42	0.21	0.32	0.23	0.42	0.12	0.20	
V	3.62	1.34	2.98	2.85	3.17	4.15	2.09	2.89	4.15	1.34	2.98	
Zn	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	-	-	-	

*主要元素之單位為 mg/l，微量元素之單位為 ppb。

*湖山溫泉屬於中性碳酸氫根泉。

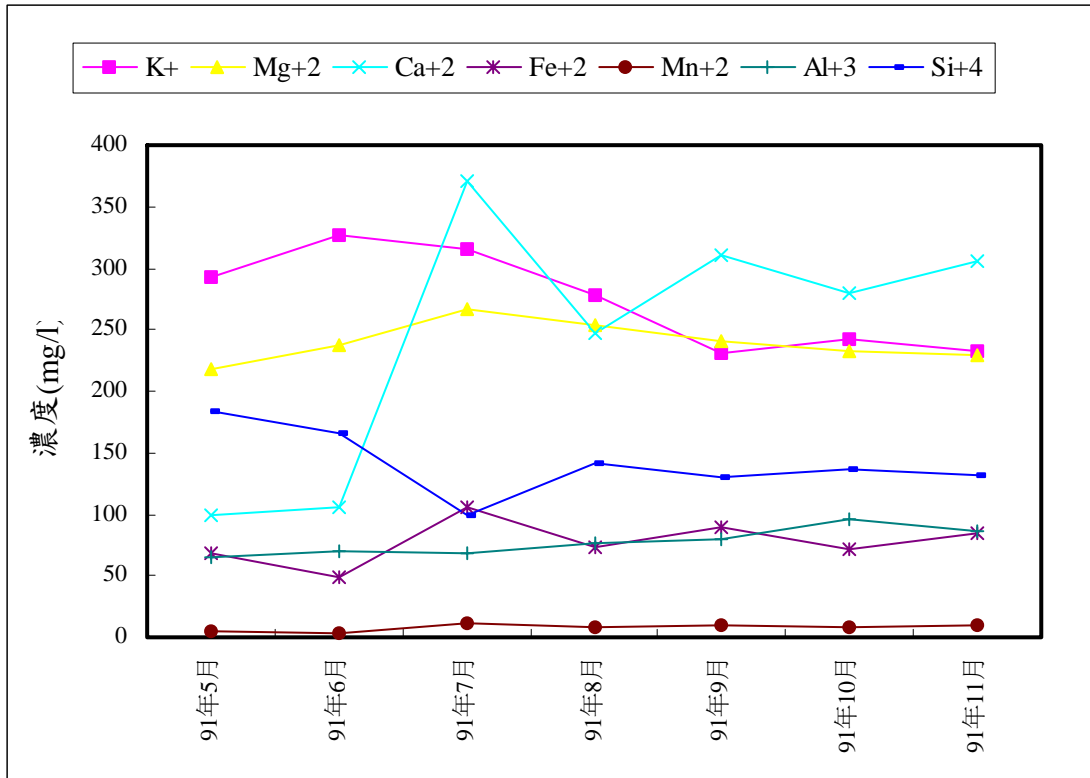


圖 5-1：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（大埔溫泉之一）

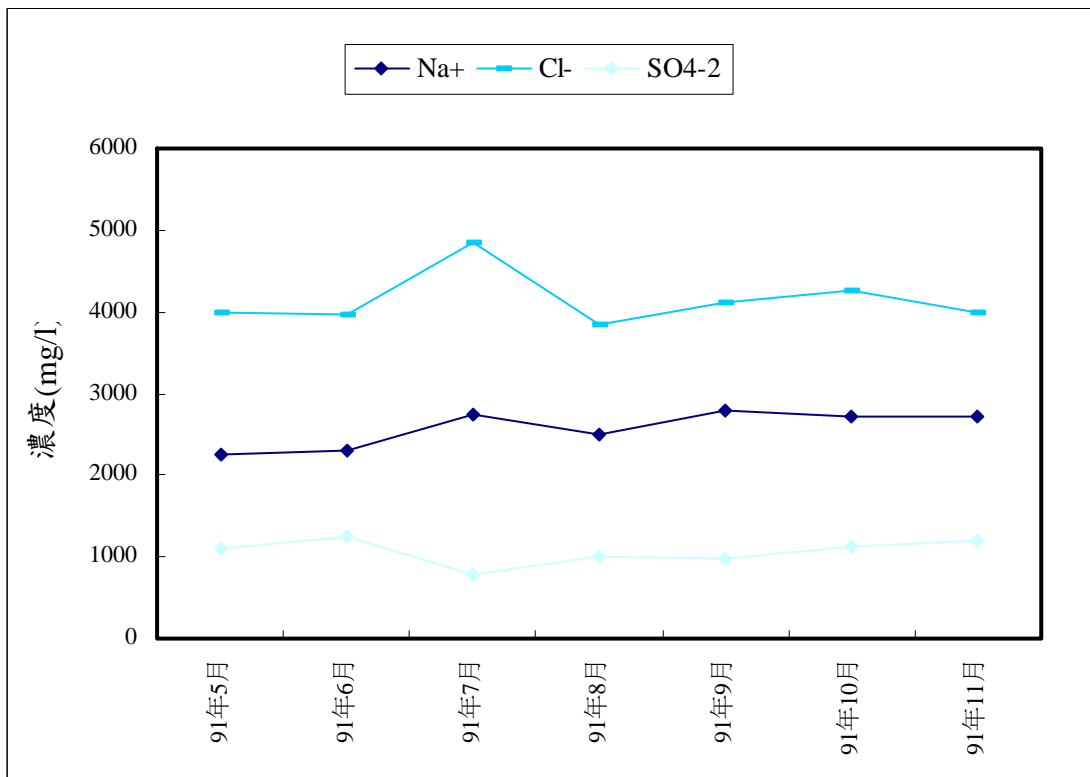


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（大埔溫泉之二）

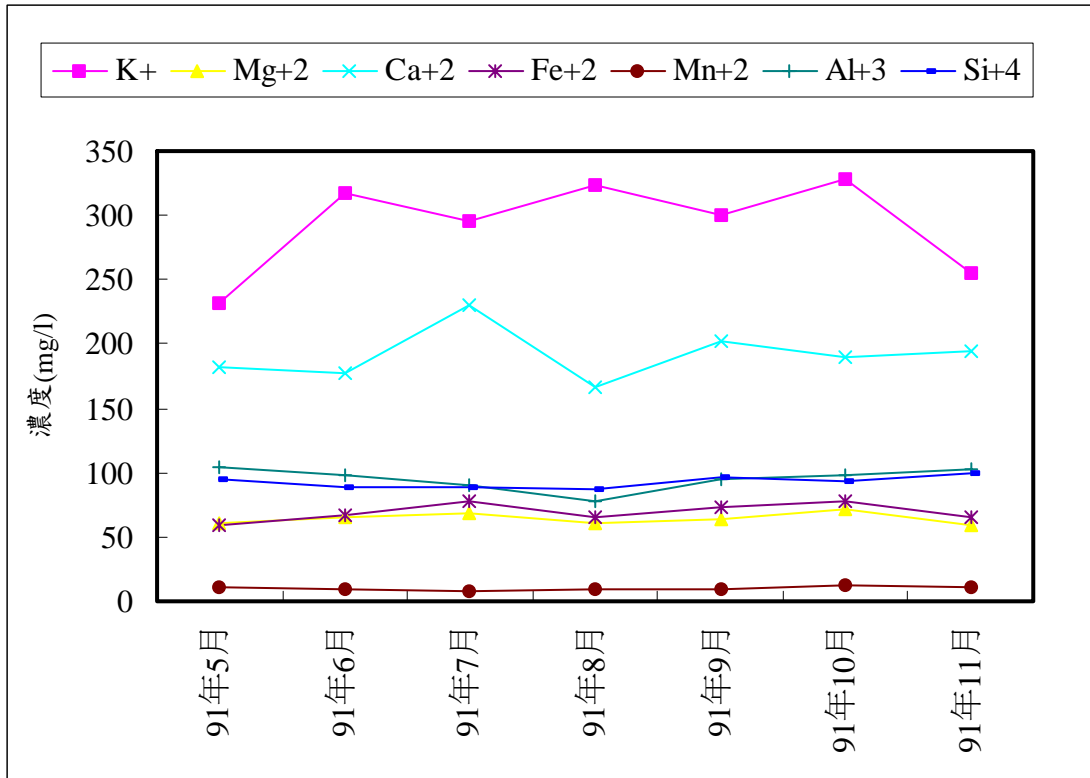


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（地熱谷溫泉之一）

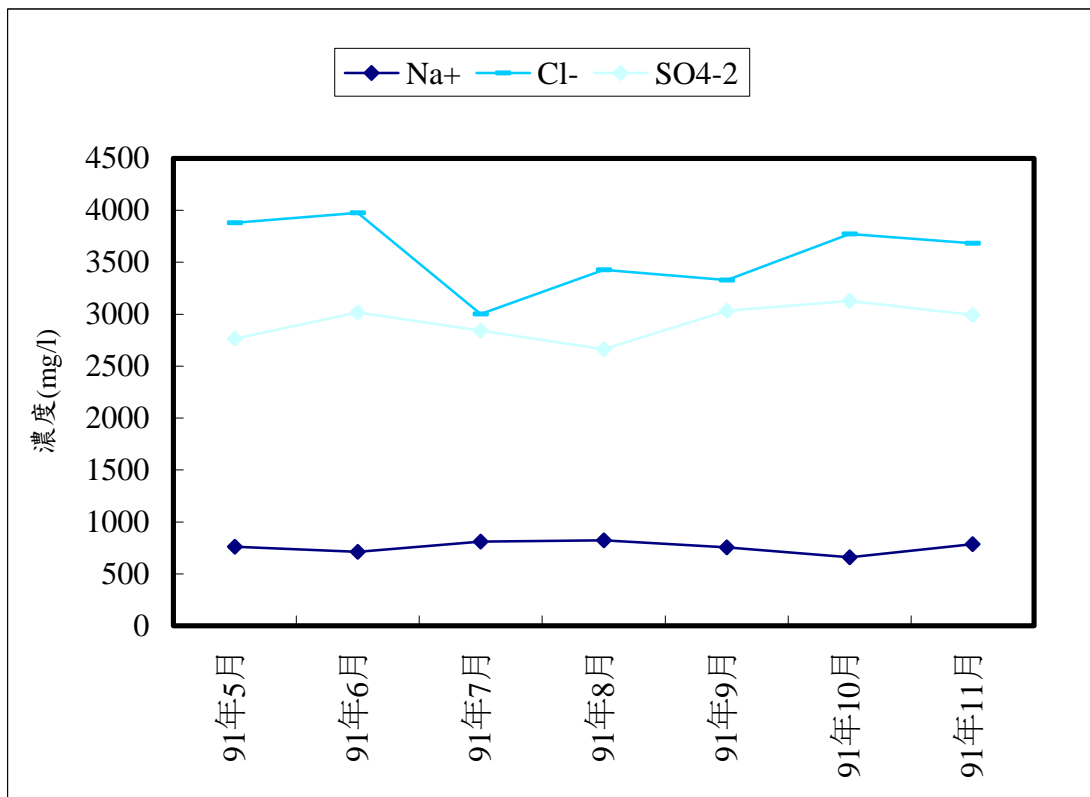


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（地熱谷溫泉之二）

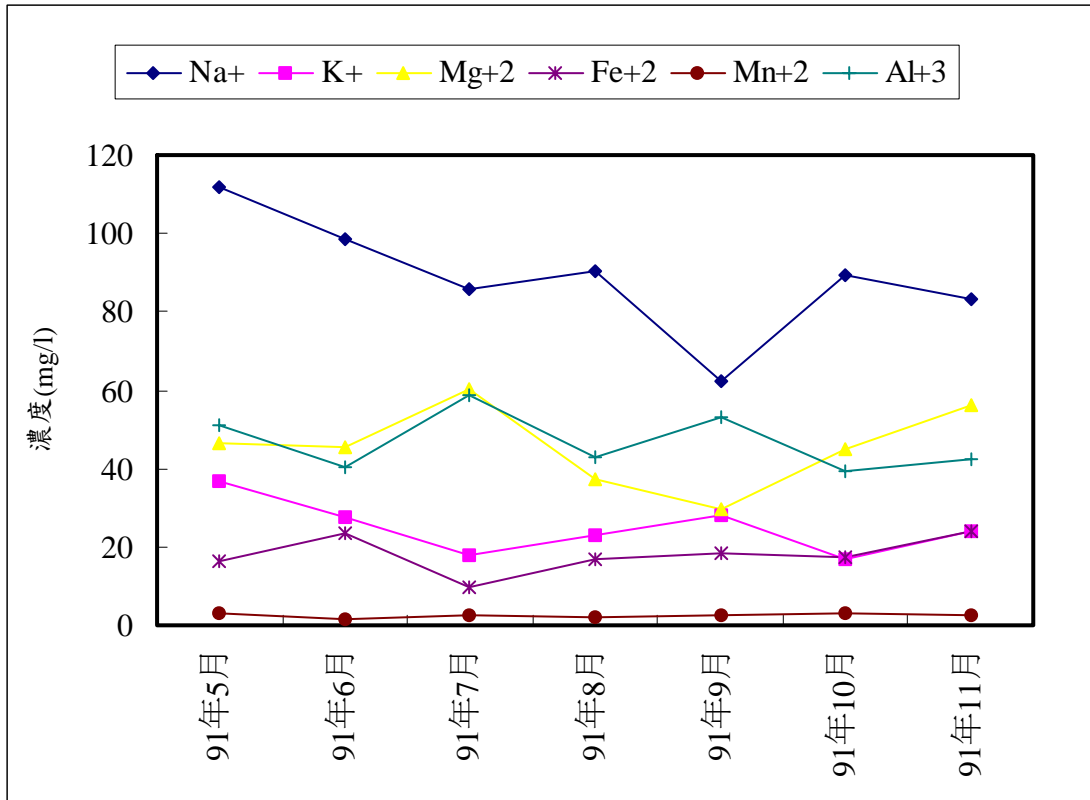


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（小油坑溫泉之一）

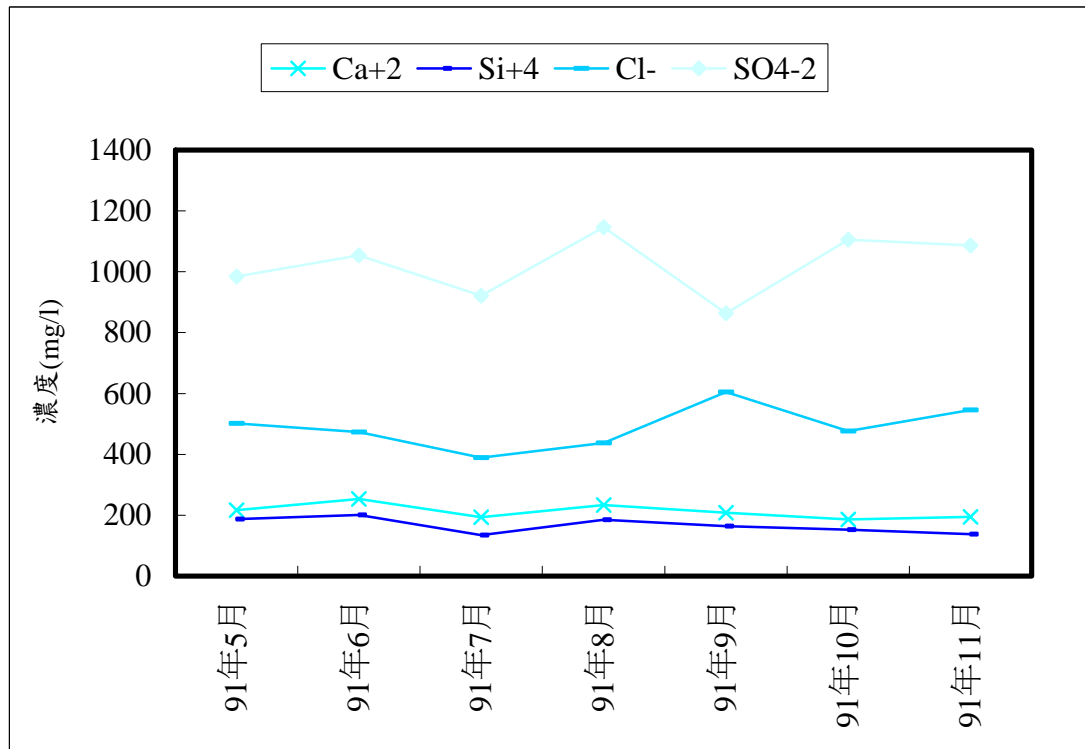


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（小油坑溫泉之二）

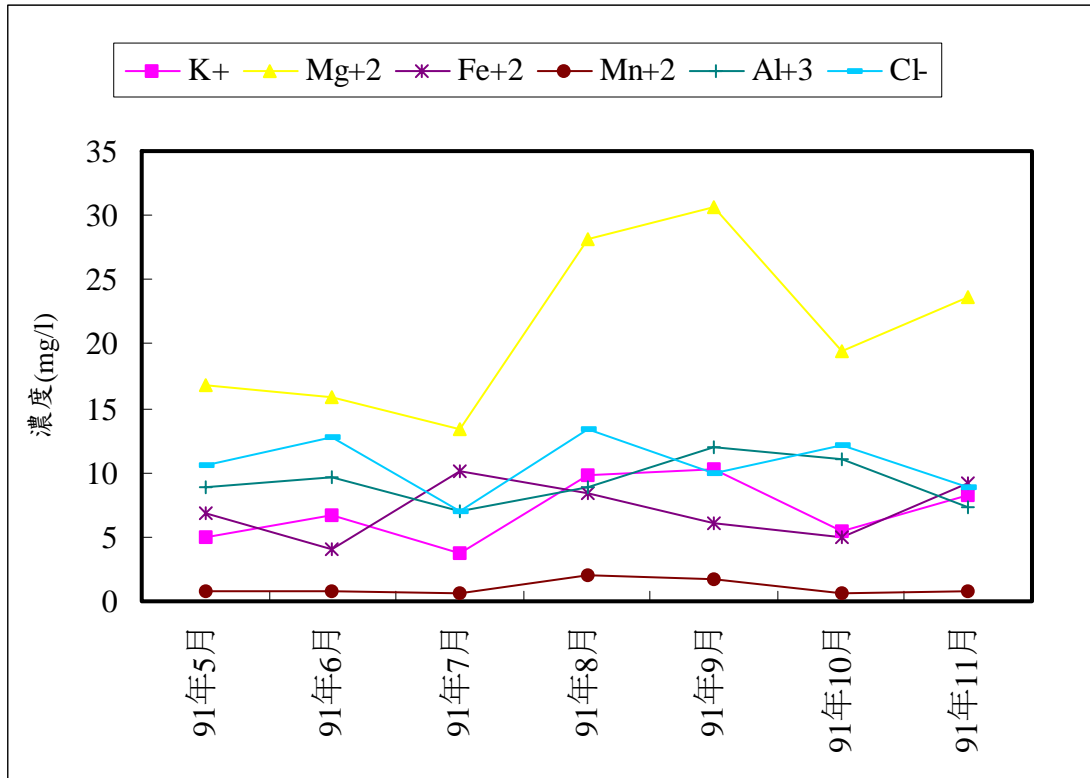


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（四磺坪溫泉之一）

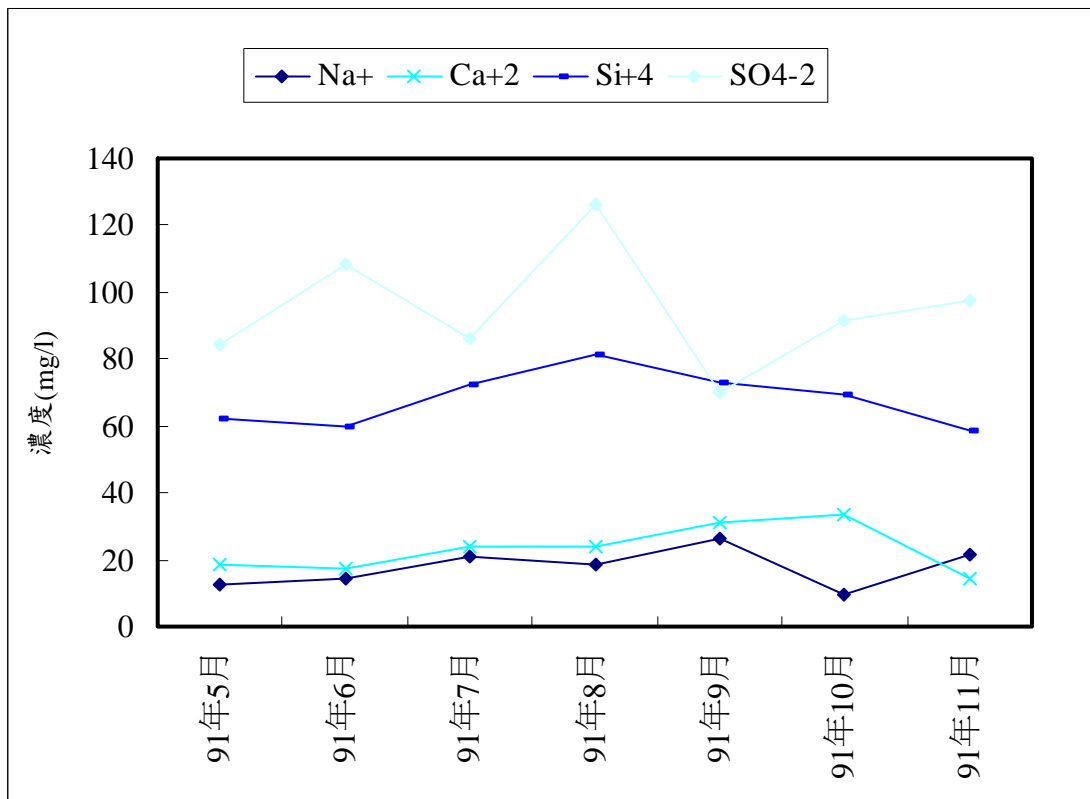


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（四磺坪溫泉之二）

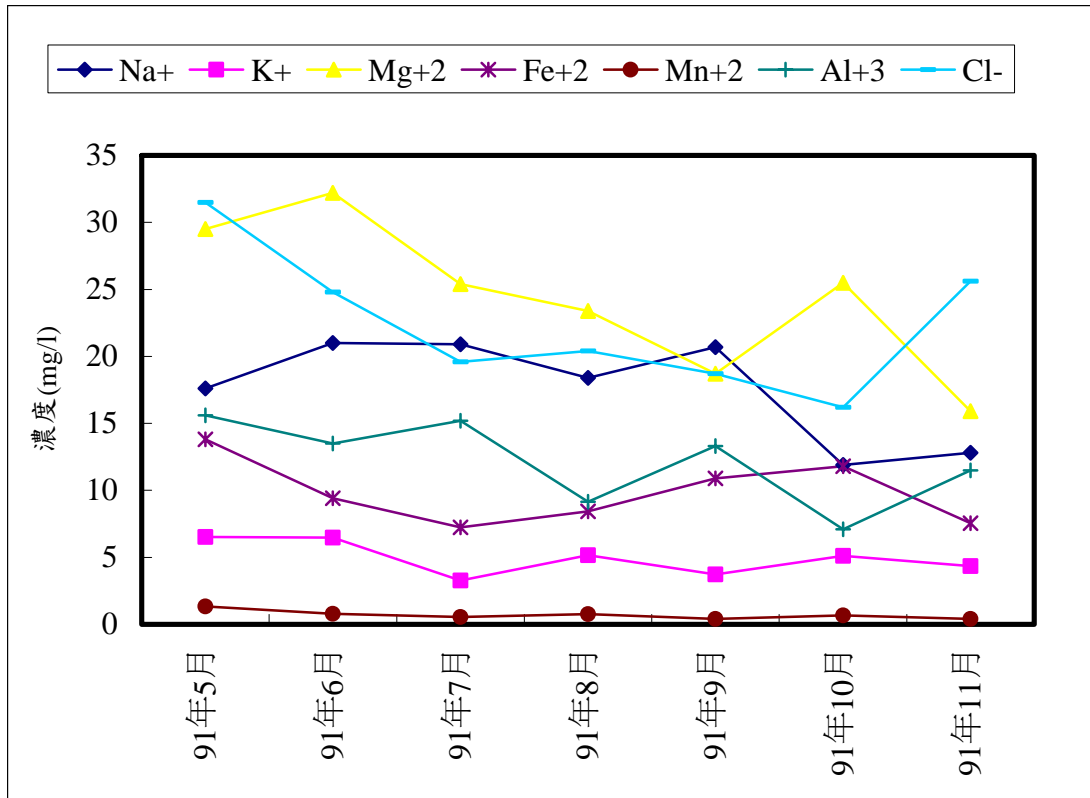


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（馬槽溫泉之一）

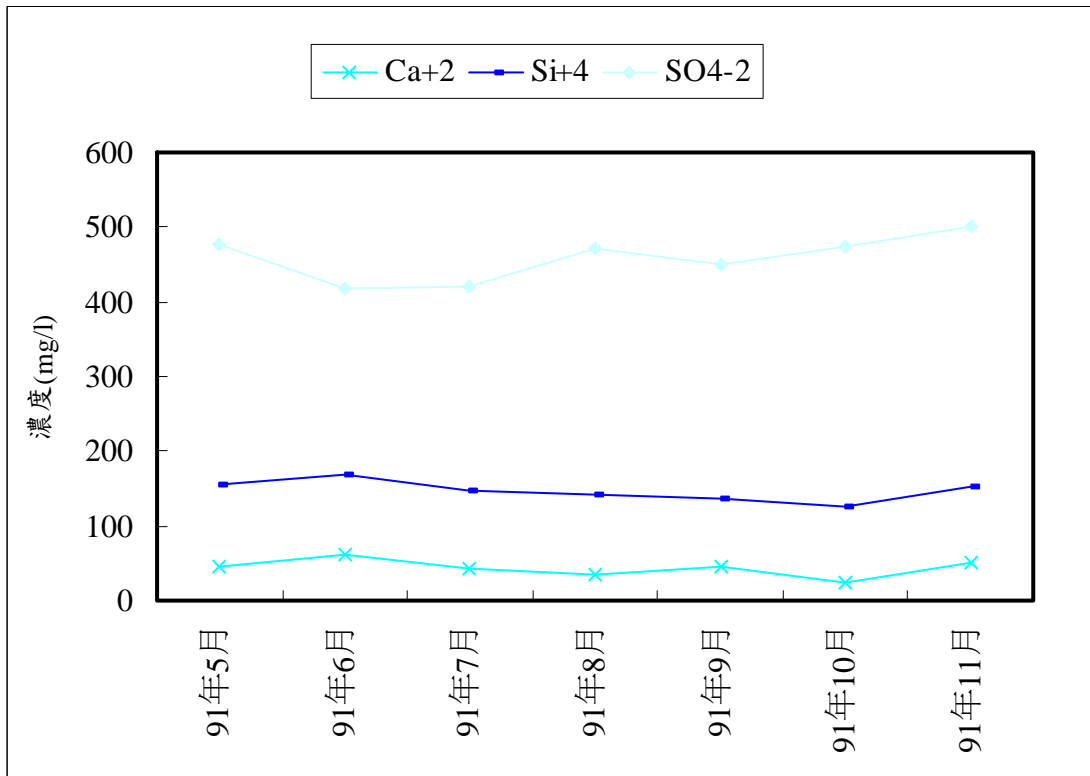


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（馬槽溫泉之二）

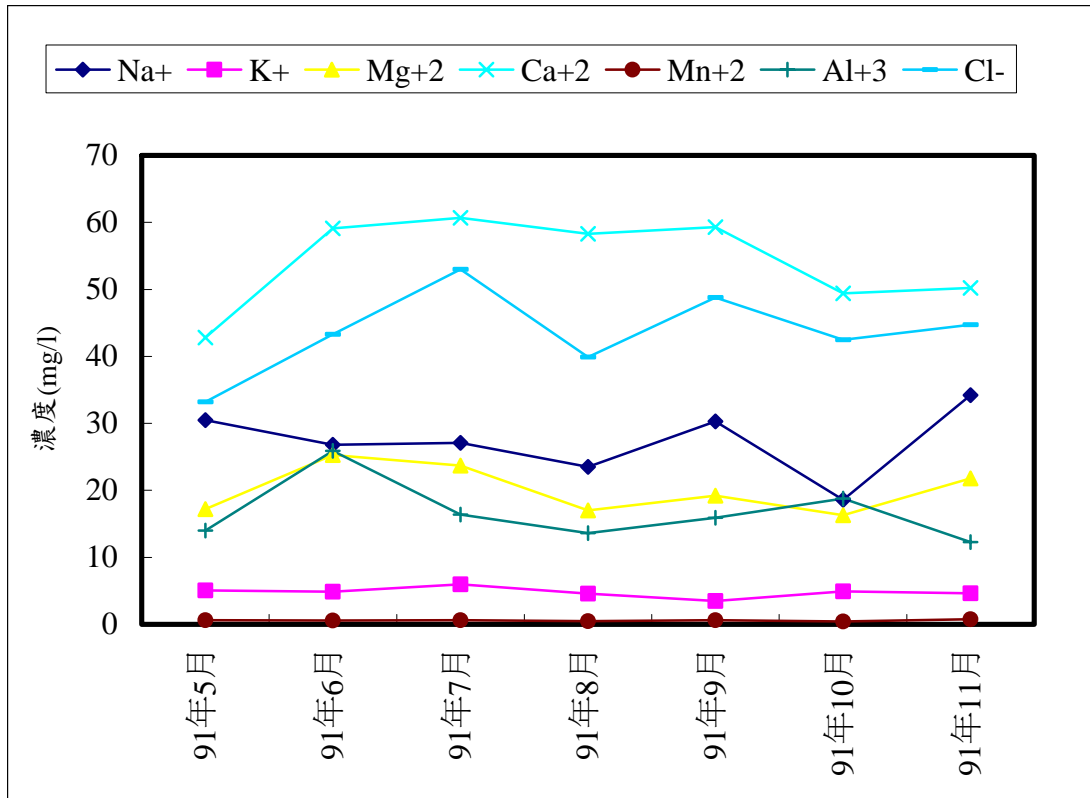


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（硫磺谷溫泉之一）

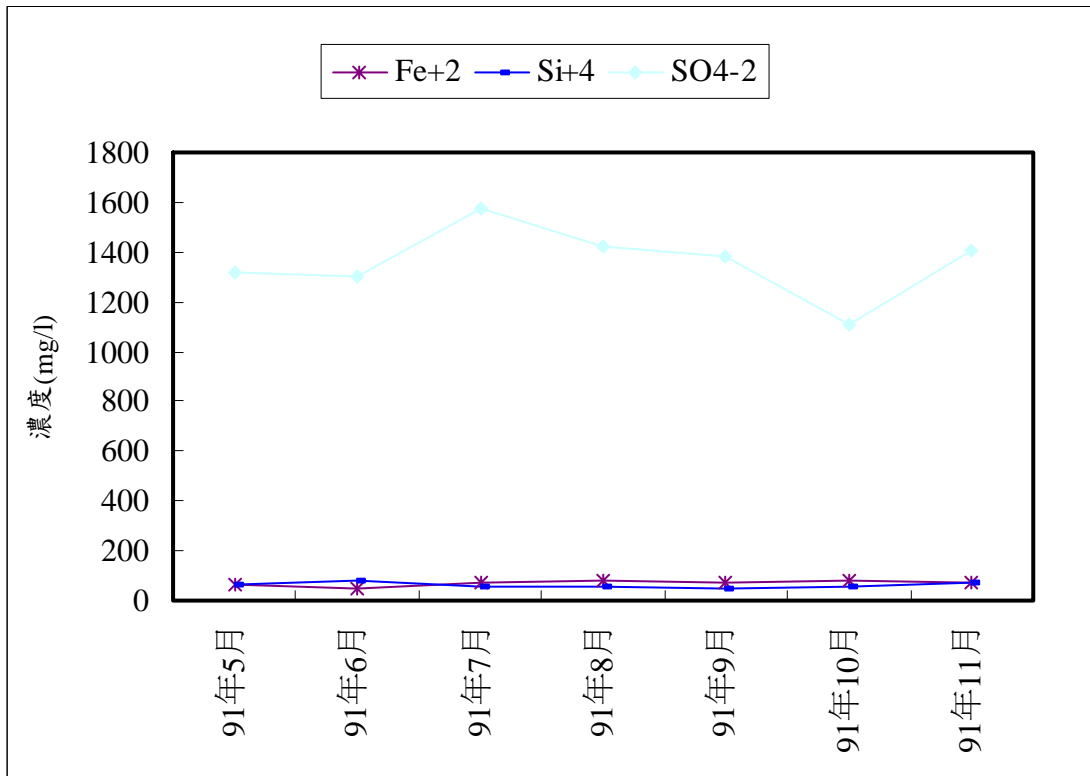


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（硫磺谷溫泉之二）

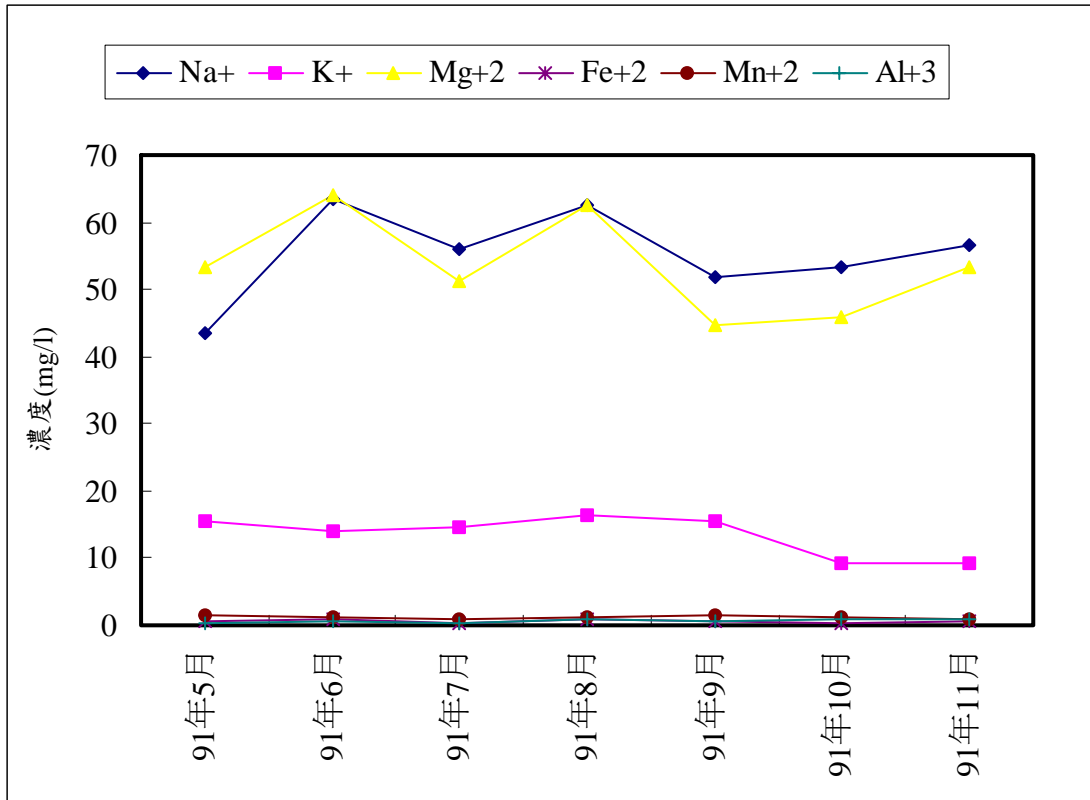


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（冷水坑溫泉之一）

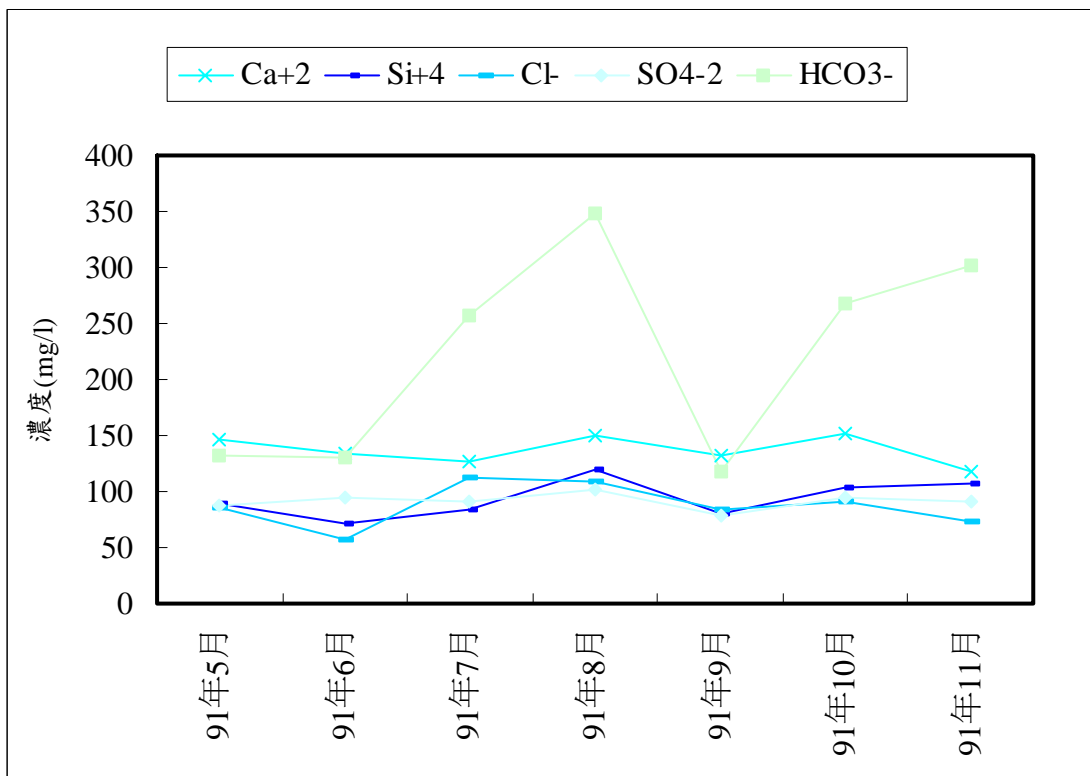


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（冷水坑溫泉之二）

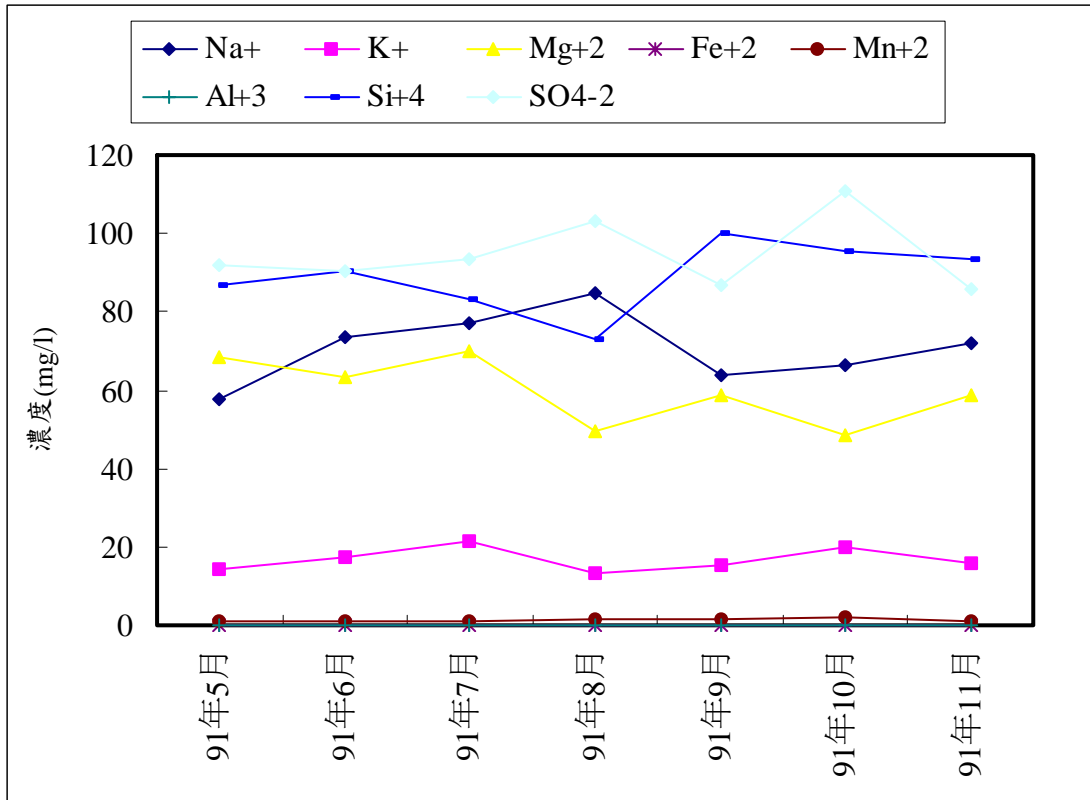


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（湖山溫泉之一）

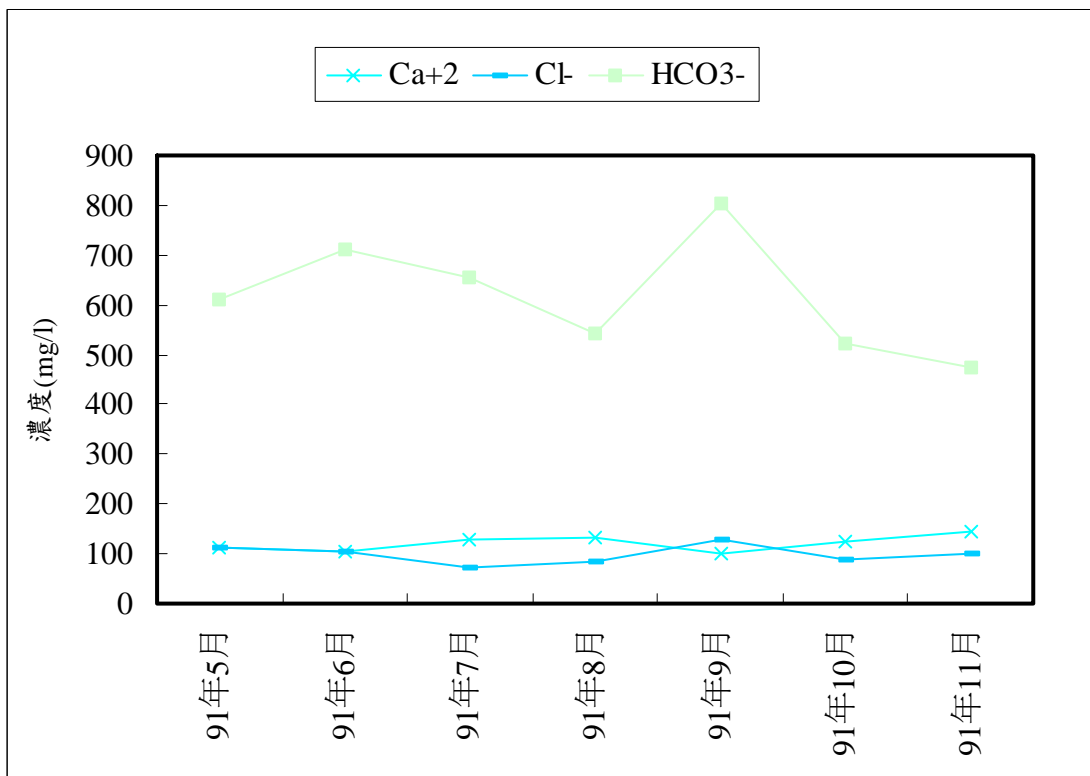


圖 5-1 續：溫泉之主要元素隨時間變化關係圖（湖山溫泉之二）

5-1-2 溫泉水之硫同位素

將選定之四個酸性硫酸根泉、兩個酸性硫酸根氯離子泉及兩個中性碳酸氫根泉進行硫同位素之分析蒐集，結果如表 5-2（部分結果參照陳，2002）。

由圖 5-2 可以明顯看出溫泉水之硫同位素比值可以分成兩個群組：沉積岩區之大埔與地熱谷溫泉硫同位素比值較其他溫泉高出許多，介於+24‰到+29‰之間；而火山岩區溫泉較低，落於 0‰到+8‰之範圍。而火山岩區之中性碳酸氫根泉（湖山及冷水坑溫泉）硫同位素比值在+7‰到+8‰之間，又比其他酸性硫酸根泉（硫磺谷、四磺坪、馬槽及小油坑）較富集。

表 5-2：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

溫泉出露位置母岩	沉積岩		火山岩					
溫泉分類	酸性硫酸根氯離子泉		酸性硫酸根泉				中性碳酸氫根泉	
	大埔	地熱谷	硫磺谷	四磺坪	馬槽	小油坑	湖山	冷水坑
$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	+28.5	+26.1	+2.4	+3.3	+0.8	+3.4	+8.0	+7.8

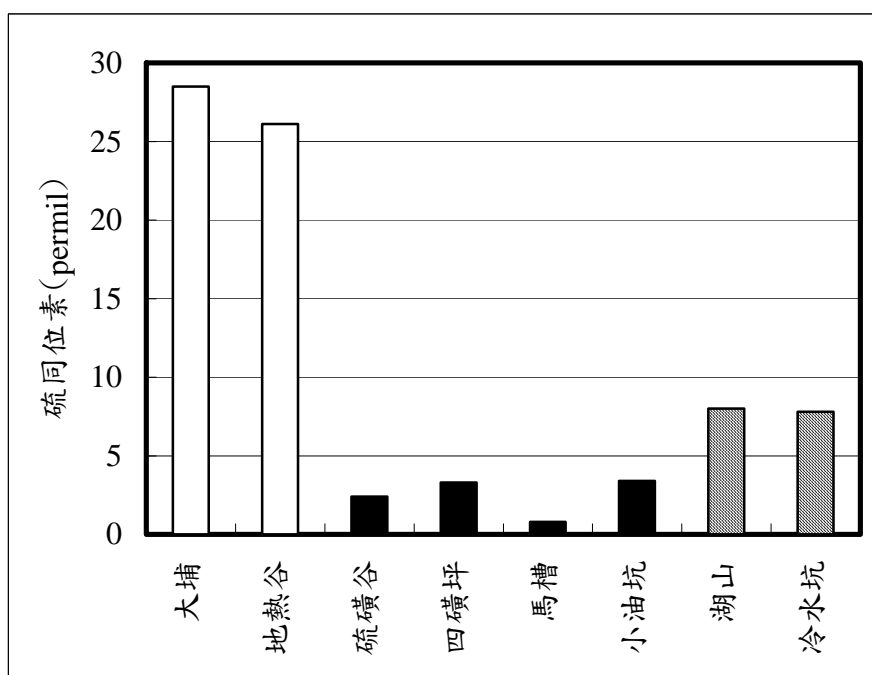


圖 5-2：溫泉水之硫同位素比較圖

本區後火山活動造成地溫梯度有相當高之正異常，在地下淺處便可超過 100°C (礦研所，1970)，故一般之細菌作用影響可以忽略 (Zobell, 1958; Chambers and Trudinger, 1979; Hoefs, 1997)，因此本區溫泉水之硫同位素比值可以視為完全代表來源物質之訊號。

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 (圖 5-2)，尤其與海相沉積岩特別吻合 (Chambers and Trudinger, 1979; Hoefs, 1997)。然而沉積岩區溫泉氣體之氮同位素資料顯示了岩漿源訊號 (何孝恆，2001)，而來自岩漿的氣體包括了 SO₂ 與 H₂S，這些含硫氣體勢必在上升至地表之過程中溶解在熱水中而變成硫酸根 (陳肇夏，1994)，並影響溫泉之硫同位素比值。一般來自於安山岩岩漿的含硫氣體之硫同位素約在 0‰ 附近 (Allard, 1983; Poorter *et al*, 1991)，然而沉積岩區溫泉水之硫同位素仍與海相沉積岩之硫相當接近，故岩漿源之硫在沉積岩區溫泉水中所佔比例應當不高。

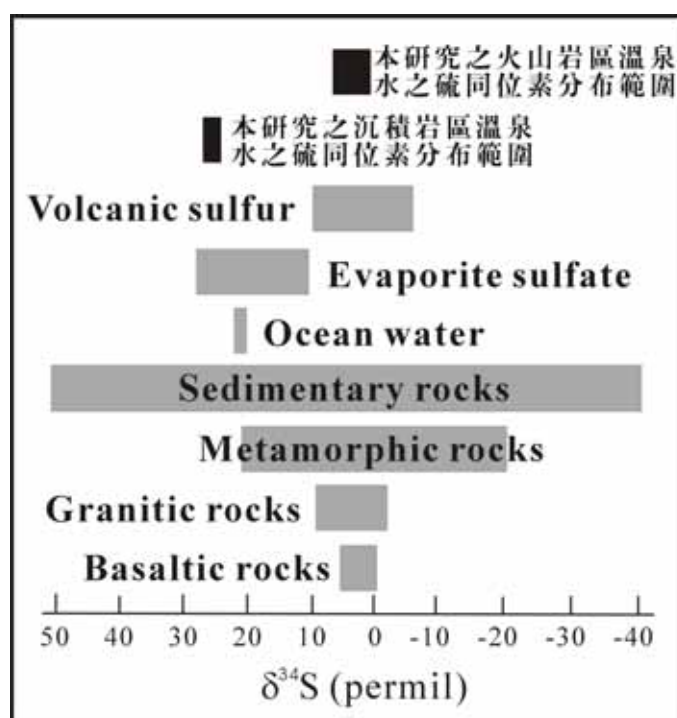


圖 5-3：溫泉水硫同位素與其他物質之硫同位素比值比較圖 (修改自陳耀麟，2002)

而火山岩區之溫泉水之硫同位素比值相對較低（表 5-2），故其主要硫之來源並非如沉積岩溫泉水一般來自海相沉積岩，其比值與火山源之硫（0‰ 左右）相當接近（圖 5-3），因此火山源氣體 SO_2 與 H_2S 之溶解可能為這些硫的主要來源。火山岩區溫泉氣體之氮同位素資料也顯示了岩漿源訊號（何孝恆，2001），另外比較硫磺谷噴氣口與溫泉氣泡中去水後火山氣體比例，顯示 SO_2 與 H_2S 在溫泉氣泡中所佔之比例都較低（圖 5-4），表示這些含硫氣體極可能在通過水體時大部分溶解在熱水中而變成硫酸根。

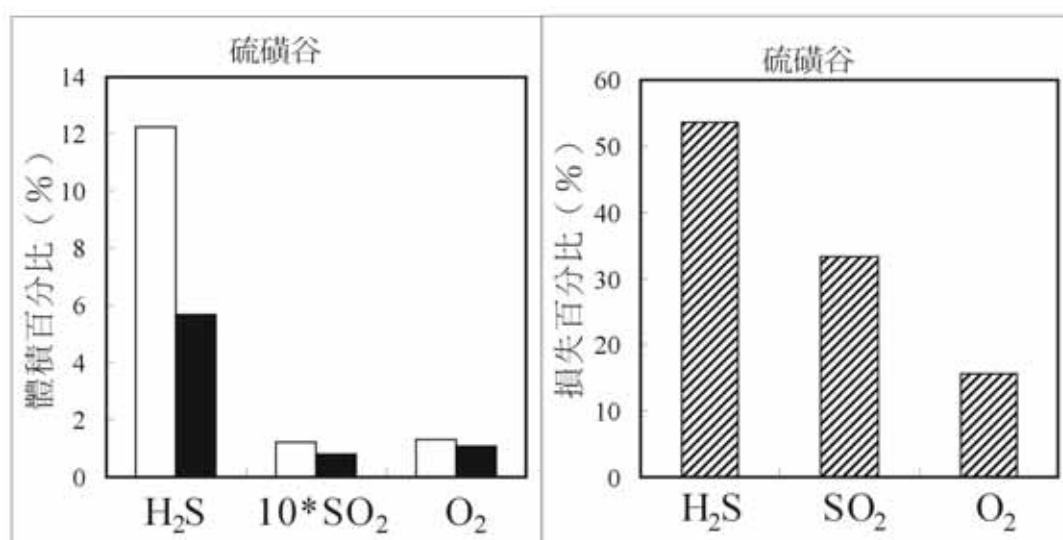


圖 5-4：硫磺谷噴氣口與溫泉氣泡中 H_2S 、 SO_2 及 O_2 之體積與損失百分比（何孝恆，2001）□：噴氣口資料 ■：溫泉氣泡資料

5-2 岩石標本採集及化學成分分析工作

5-2-1 岩石標本之化學成分

本研究共採集了三十一件岩石樣本，以供博物館教育展覽之用。所有岩樣之採樣點、岩性及名稱整理如表 5-3。

而三十一件岩石樣本之全岩主要化學分析結果如表 5-4。根據野外及顯微鏡下岩象觀察（將於下節討論），除少數樣本為砂岩外，其他岩樣皆為安山岩，但從全岩化學成分上來看，僅有部分較新鮮之樣本成分屬於安山岩，如小觀音山及大屯 2。此乃由於經過熱液蝕變作用後，化學成分已有很大改變，如竹子湖 3、小油坑 1 及四磺坪 1 等SiO₂含量遠超過安山岩SiO₂含量上限，其成分已不能稱為安山岩。

整理本研究之所有樣本，大致上可以用L.O.I. (loss of ignition) 當作簡單分類依據來判定其受到蝕變作用影響之程度：(1) 當L.O.I.小於 3%左右，則可視為未受蝕變作用之岩石，但可能有局部風化作用影響，其化學成分落在一般安山岩之範圍內，岩石質地較緻密；(2) 當L.O.I.介於 3%到 10%左右，表示已受蝕變作用影響，不過其化學成分之變化並不明顯，仍落在一般安山岩之化學成分範圍內，岩石質地變得較鬆散，顏色上較淡，顯微鏡下礦物可觀察到蝕變現象；(3) 當L.O.I.大於 10%左右，表示強烈受蝕變作用影響，其SiO₂皆高於 68%，而且除Al₂O₃外，其他化學成分幾乎皆降至 3%以下，岩石質地非常鬆散，顏色偏灰白，顯微鏡下礦物蝕變現象非常明顯。

依照方建能（2002）之研究，安山岩的熱液溶蝕作用，分為溶解、崩解及低溫方矽石的生成等三個過程。安山岩溶蝕的殘留物以SiO₂為主，其他成分多逐漸被取代或溶蝕，因此受強烈蝕變作用後，所佔之百分比比較低，此與本研究結果一致（表 5-4）。另一方面，殘留的SiO₂隨即轉變為較穩定的低溫方矽石，而不再繼續被溶蝕。本研究中L.O.I.超過 10%者其SiO₂皆高於 68%，也就是因此而來。而也因為殘留部分多為SiO₂，鐵鎂質流失，故顏色偏灰白。至於岩石變得鬆軟，

則是因溶解與崩解作用破壞了岩石結構所導致。

表 5-3：岩石樣本採樣點及岩性描述

採樣區	名稱	採樣點	岩性描述
小油坑	小油坑 1	小油坑下方涼亭附近	熱液換質火山岩
	小油坑 2	小油坑下方涼亭附近	熱液換質火山岩
四磺坪	四磺坪 1	四磺坪溫泉附近	熱液換質砂岩
	四磺坪 2	四磺坪溫泉附近	熱液換質火山岩
	四磺坪 3	天瀨溫泉附近	新鮮緻密火山岩
冷水坑	冷水坑 1	冷水坑浴池附近	新鮮緻密安山岩
	冷水坑 2	冷水坑浴池附近	熱液換質火山岩
	冷水坑 3	冷水坑浴池附近	熱液換質火山岩
馬槽	馬槽 1	馬槽橋旁	熱液換質火山岩
	馬槽 2	馬槽橋旁	熱液換質火山岩
	馬槽 3	馬槽溫泉附近	熱液換質火山岩
	馬槽 4	馬槽溫泉附近	熱液換質火山岩
硫磺谷	硫磺谷 1	硫磺谷溫泉附近	熱液換質砂岩
	硫磺谷 2	硫磺谷溫泉附近	熱液換質砂岩
	硫磺谷 3	硫磺谷溫泉附近	熱液換質砂岩
七星山	七星山	柏園山莊附近	新鮮緻密安山岩
大屯山	大屯 1	大屯自然公園附近	新鮮緻密安山岩
	大屯 2	百拉卡公路與陽金公路交叉口	新鮮緻密安山岩
大油坑	大油坑 1	大油坑遊憩中心附近	熱液換質火山岩
	大油坑 2	大油坑遊憩中心附近	熱液換質火山岩
小觀音山	小觀音山	小觀音山軍營	新鮮緻密安山岩
竹子湖	竹子湖 1	竹子湖溫泉附近	熱液換質火山岩
	竹子湖 2	竹子湖溫泉附近	熱液換質火山岩
	竹子湖 3	竹子湖溫泉附近	熱液換質火山岩
	竹子湖 4	竹子湖溫泉附近	熱液換質火山岩
	竹子湖 5	竹子湖溫泉附近	熱液換質火山岩
庚子坪	庚子坪	庚子坪溫泉附近	新鮮緻密安山岩
紗帽山	紗帽山 1	陽明山公車總站附近	新鮮緻密火山岩
	紗帽山 2	龍鳳谷餐廳附近	新鮮緻密火山岩
	紗帽山 3	鐸舍溫泉附近	新鮮緻密火山岩
磺溪頭	磺溪頭	磺溪頭附近	新鮮緻密安山岩

表 5-4：全岩分析結果

	小油坑 1	小油坑 2	四磺坪 1	四磺坪 2	四磺坪 3	冷水坑 1	冷水坑 2	冷水坑 3
SiO₂	72.34	55.25	84.55	75.01	56.28	55.57	54.78	54.33
Al₂O₃	5.74	18.01	3.47	6.70	16.53	17.37	17.70	17.39
ΣFe₂O₃	2.73	7.85	0.66	3.41	7.49	8.19	8.50	7.89
MgO	2.26	3.59	0.07	2.10	4.50	4.01	3.52	3.59
CaO	0.88	4.80	0.09	0.92	8.12	8.94	5.54	5.78
Na₂O	0.92	1.99	0.12	0.99	2.42	2.60	2.28	2.10
K₂O	1.82	1.48	0.74	2.02	1.79	1.83	1.49	1.82
TiO₂	0.69	0.66	0.13	0.64	0.56	0.66	0.68	0.65
P₂O₅	0.10	0.19	0.04	0.10	0.28	0.31	0.27	0.35
MnO	0.09	0.13	0.01	0.07	0.13	0.14	0.15	0.11
L.O.I.	12.3	5.9	10.1	7.9	1.7	0.2	4.9	5.8
Total	99.87	99.85	99.98	99.86	99.80	99.82	99.81	99.81
	馬槽 1	馬槽 2	馬槽 3	馬槽 4	硫磺谷 1	硫磺谷 2	硫磺谷 3	七星山
SiO₂	68.53	68.58	53.05	71.60	95.98	98.01	86.55	54.77
Al₂O₃	12.44	16.13	16.00	5.43	0.34	0.61	0.26	17.13
ΣFe₂O₃	5.37	0.23	9.72	4.01	0.74	0.50	0.48	8.47
MgO	0.08	0.08	4.58	2.84	0.02	0.01	0.01	3.95
CaO	0.65	0.59	5.47	1.59	0.08	0.03	0.06	7.48
Na₂O	0.42	0.36	2.03	1.12	0.07	0.02	0.05	2.47
K₂O	0.49	0.62	0.47	1.87	0.04	0.16	0.06	1.98
TiO₂	0.87	0.69	0.85	0.56	0.73	0.07	0.42	0.69
P₂O₅	0.85	0.84	0.25	0.08	0.01	0.01	0.01	0.32
MnO	0.01	0.01	0.14	0.10	0.01	0.01	0.01	0.14
L.O.I.	10.0	11.6	7.2	10.7	1.9	0.6	12.0	2.4
Total	99.71	99.73	99.76	99.90	99.92	100.03	99.91	99.80

表 5-4 續：全岩分析結果

	大屯 1	大屯 2	大油坑 1	大油坑 2	小觀音山	竹子湖 1	竹子湖 2	竹子湖 3
SiO₂	56.53	56.89	68.12	68.05	55.94	66.85	71.58	77.47
Al₂O₃	16.86	17.70	17.93	17.32	17.63	10.60	6.23	7.19
ΣFe₂O₃	7.96	7.47	1.13	1.37	7.99	4.76	3.33	0.91
MgO	3.47	2.98	0.11	0.09	3.13	3.55	2.71	0.14
CaO	6.79	6.57	0.29	0.47	7.69	3.82	1.49	0.49
Na₂O	2.63	2.64	0.09	0.15	2.76	2.04	1.10	0.23
K₂O	2.28	1.87	0.47	0.94	1.85	1.96	2.15	1.16
TiO₂	0.71	0.82	0.95	0.88	0.68	0.80	0.86	1.13
P₂O₅	0.43	0.32	0.42	0.61	0.40	0.14	0.09	0.28
MnO	0.13	0.12	0.01	0.01	0.15	0.12	0.09	0.01
L.O.I.	2.0	2.4	10.3	10.0	1.6	5.2	10.2	10.8
Total	99.79	99.78	99.82	99.89	99.82	99.84	99.83	99.81
	竹子湖 4	竹子湖 5	庚子坪	紗帽山 1	紗帽山 2	紗帽山 3	磺溪頭	
SiO₂	75.13	63.93	55.40	57.57	55.30	55.35	56.05	
Al₂O₃	6.14	12.32	16.38	17.35	18.26	17.96	15.71	
ΣFe₂O₃	1.84	5.79	7.92	7.18	7.87	8.18	7.77	
MgO	0.06	3.21	4.30	3.15	3.18	3.54	4.79	
CaO	0.20	2.53	8.75	6.09	7.76	6.23	8.83	
Na₂O	0.24	2.07	2.44	2.67	2.73	2.32	2.77	
K₂O	0.34	1.76	1.76	1.56	1.20	1.47	1.63	
TiO₂	1.17	0.63	0.59	0.61	0.69	0.62	0.58	
P₂O₅	0.23	0.11	0.26	0.20	0.21	0.22	0.27	
MnO	0.01	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.13	
L.O.I.	14.5	7.4	1.9	3.3	2.5	3.8	1.3	
Total	99.86	99.87	99.83	99.81	99.84	99.83	99.83	

5-2-2 岩石標本之岩象學

三十一件岩石樣本皆已完成光薄片之磨製，以供觀察礦物之蝕變現象。圖 5-5 至 5-9 為部分樣本礦物遭受蝕變之顯微鏡下圖片。綜合方建能（2002）與本研究之觀察，本區安山岩礦物蝕變之順序為斜長石-鐵鎂礦物（輝石與角閃石）-含鈦鐵礦物（磁鐵礦與鈦鐵礦），而以相同礦物而言，石基比斑晶容易溶蝕。礦物的溶蝕作用通常先沿晶體構造弱處和晶體間的接觸面等發生，然後向其周圍擴散，而所謂的晶體構造弱處包括礦物原生孔洞、微裂隙、階梯狀表面及解理等（方建能，2002）。

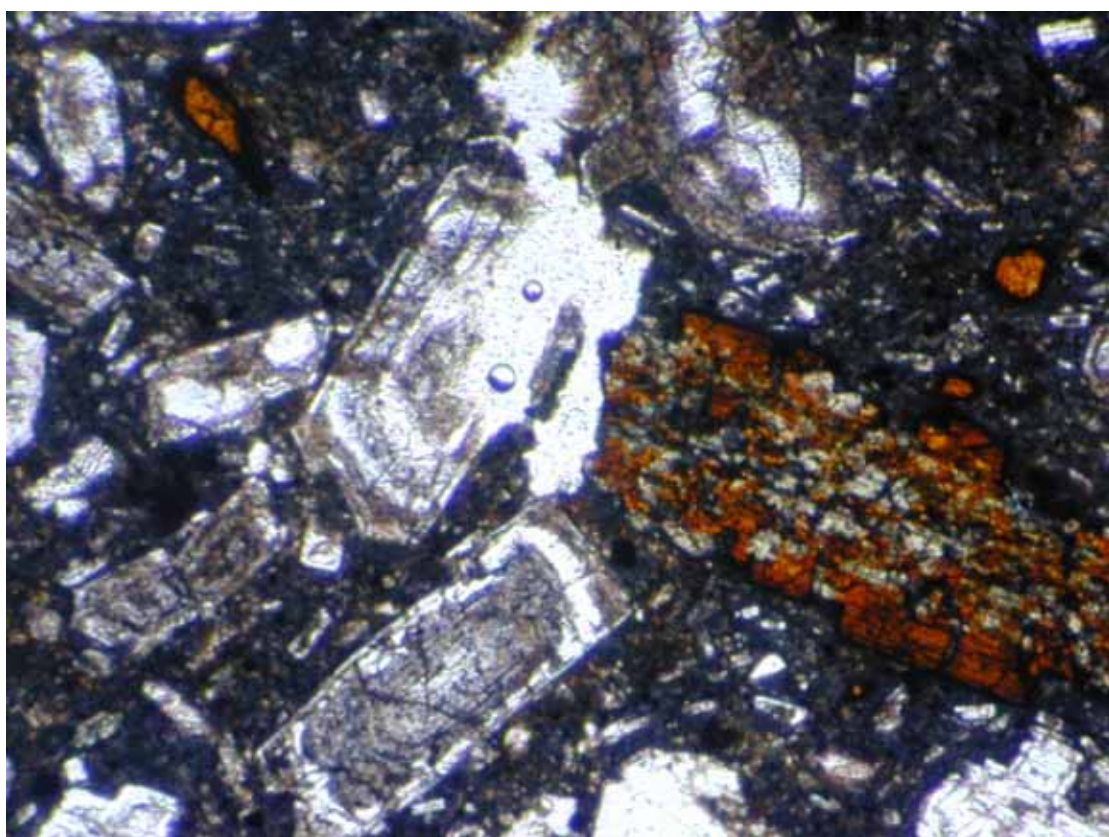


圖 5-5：已溶蝕之長石

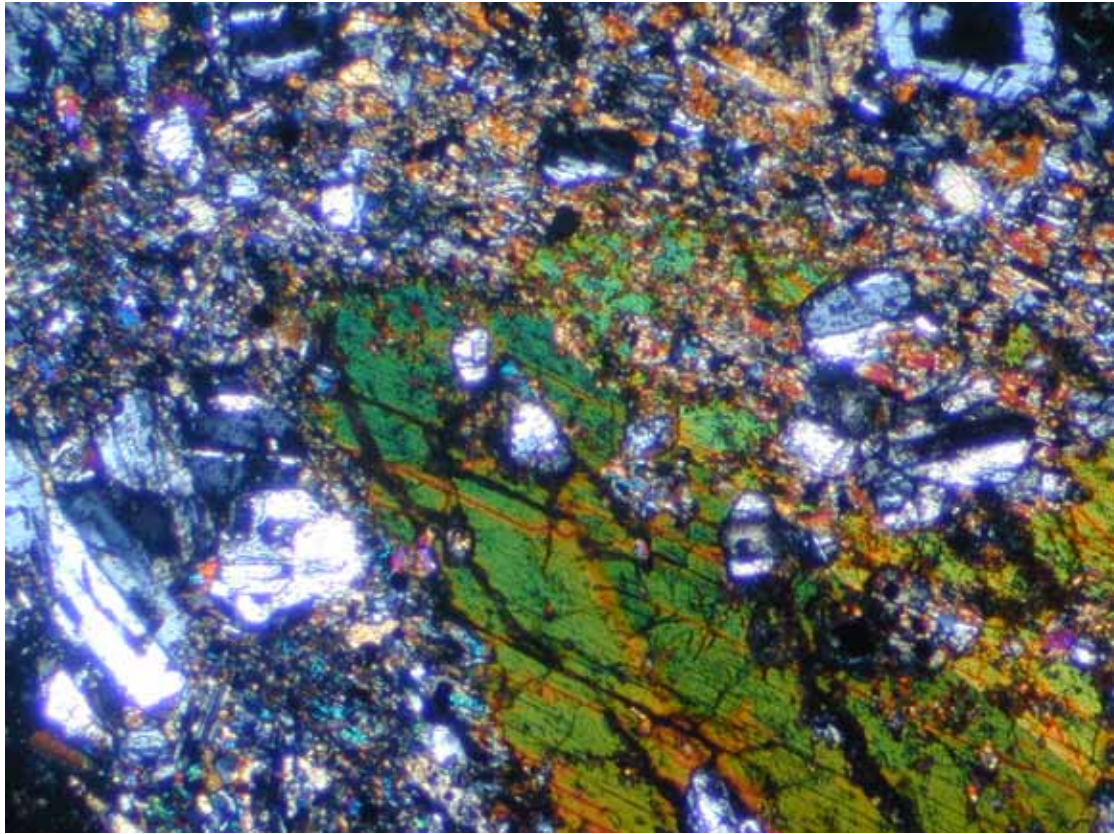


圖 5-6：已溶蝕之角閃石

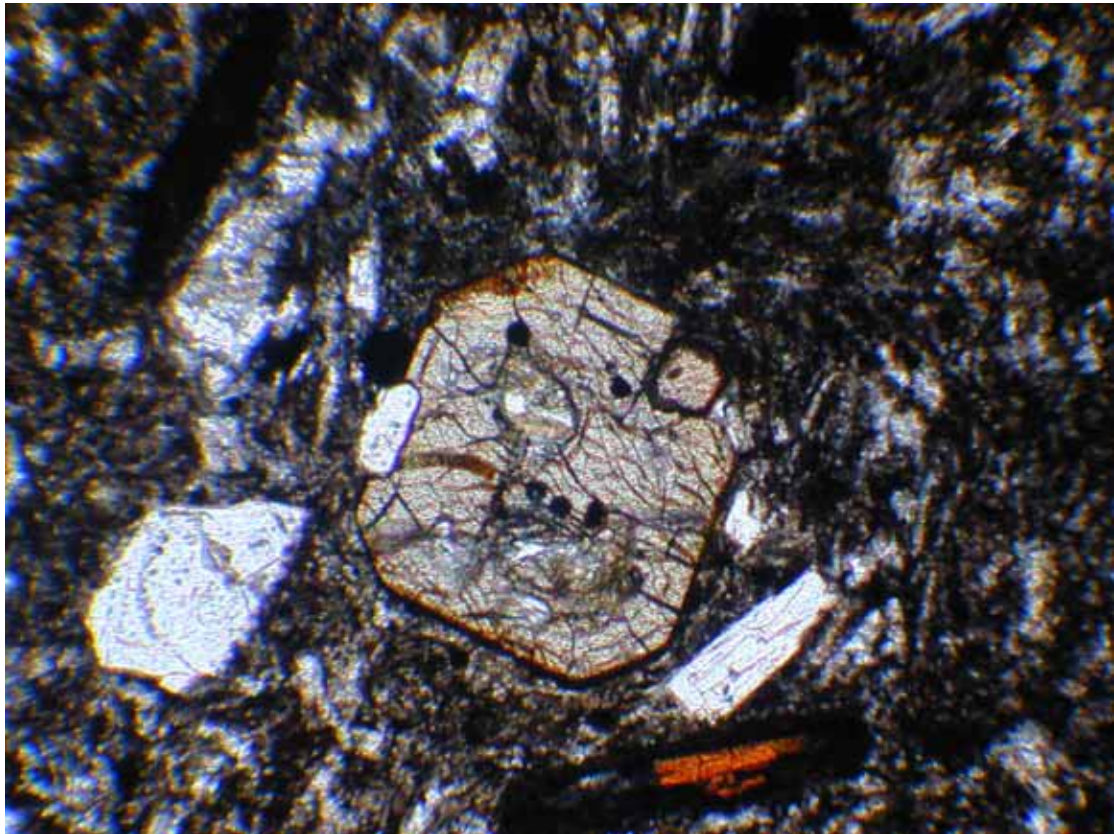


圖 5-7：已溶蝕之紫蘇輝石

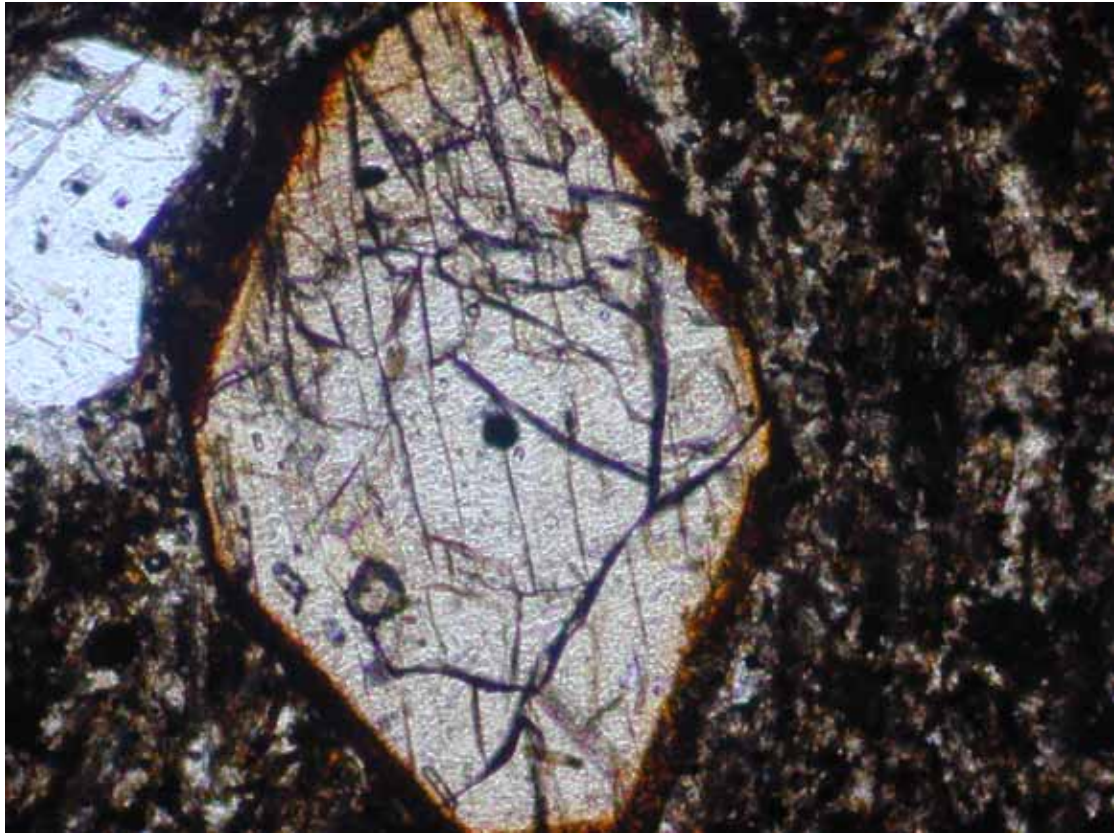


圖 5-8：已溶蝕之角閃石

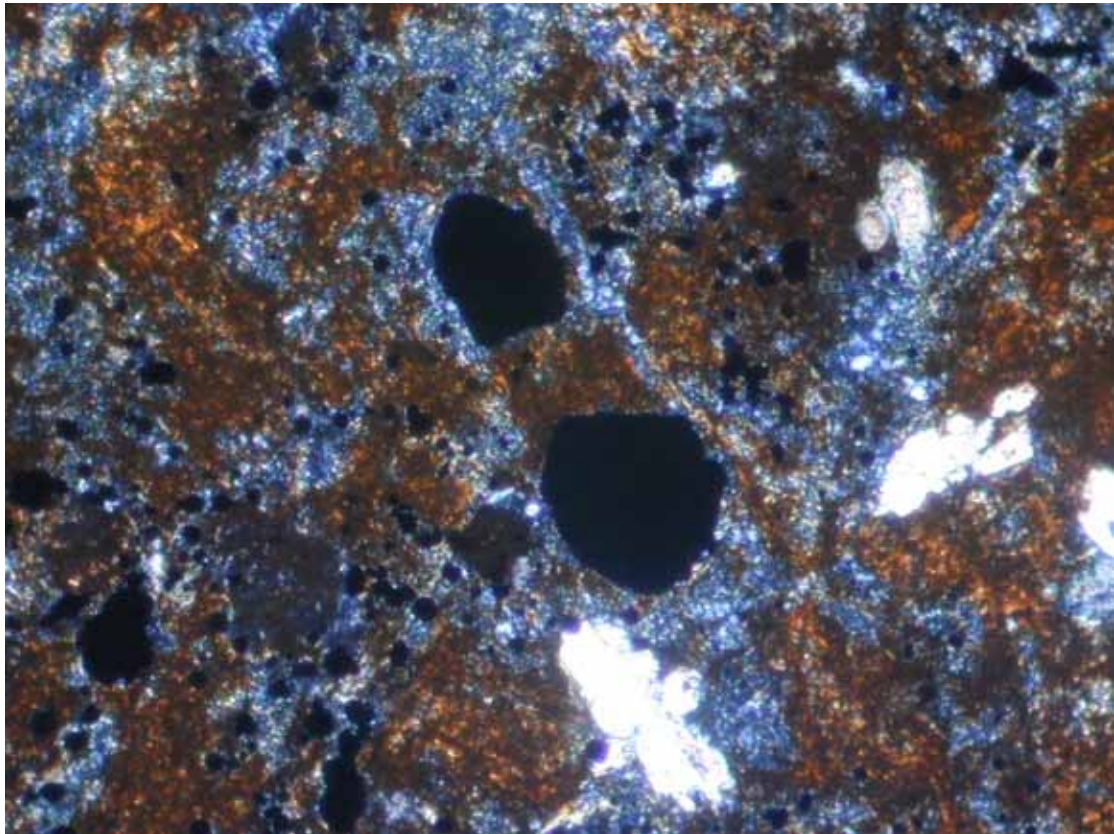


圖 5-9：已溶蝕之不透明礦物（含鈦鐵礦物）

5-3 圖像數位化工作

三十一件岩石標本及其顯微鏡下岩象觀察之圖像數位化工作皆已完成，每件標本皆有 2 張岩石標本圖像以及至少 6 張顯微鏡下岩象圖像，詳細之圖像檔數目如表 5-5。而各採樣點之位置參見圖 2-2。

本研究一共完成三十一件岩石標本之 262 個圖像檔，並已燒錄成光碟，以供日後使用。

表 5-5：岩石標本圖像檔表

名稱	岩石標本圖	岩象圖	名稱	岩石標本圖	岩象圖
小油坑 1	2	6	大屯 1	2	6
小油坑 2	2	6	大屯 2	2	6
四礮坪 1	2	6	大油坑 1	2	6
四礮坪 2	2	8	大油坑 2	2	8
四礮坪 3	2	6	小觀音山	2	8
冷水坑 1	2	8	竹子湖 1	2	6
冷水坑 2	2	6	竹子湖 2	2	6
冷水坑 3	2	8	竹子湖 3	2	6
馬槽 1	2	6	竹子湖 4	2	6
馬槽 2	2	6	竹子湖 5	2	8
馬槽 3	2	6	庚子坪	2	6
馬槽 4	2	6	紗帽山 1	2	6
硫磺谷 1	2	6	紗帽山 2	2	6
硫磺谷 2	2	6	紗帽山 3	2	6
硫磺谷 3	2	6	礮溪頭	2	8
七星山	2	6			

第六章 參考文獻

中文部分

方建能（2002）安山岩之熱液蝕變作用，國立台灣大學地質科學研究所博士論文，共 130 頁。

何孝恆（2001）台灣北部地區大屯火山群火山噴氣來源之探討，國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 80 頁。

何春蓀（1986）台灣地質概論及台灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所，共 164 頁。

王偉光、陳隆輝、孫若琥（1987）。大屯山地熱區熱水換質作用之地球化學研究，中國石油公司台灣油礦探勘總處，七十六年度專題研究報告，共 46 頁。

莊文星、陳汝勤（1989）台灣北部火山岩之定年與地球化學研究，經濟部中地質調查所彙刊，第五號，125-166 頁。

陳正宏（1990）台灣的火成岩，經濟部中央地質調查所，共 137 頁。

陳肇夏（1989）台灣的溫泉和地熱，地質，第九卷，第 2 期，327~340 頁。

陳肇夏（1994）大地的氣息，陽明山國家公園管理處，共 308 頁。

陳耀麟（2002）大屯火山區溫泉水之化學成分及其對河水之影響，國立台灣大學地質科學研究所博士論文，共 204 頁。

張寶堂（1979）台灣地熱徵兆分布之特性，能源季刊，第九卷，第 4 期，75~85 頁。

黃鑑水（1998）台灣地質圖（五萬分之一），圖幅第四號（台北），經濟部中地質調查所，第二版，共 61 頁。

黃鑑水、李錦發、劉桓吉（1991）台灣北部崁腳斷層之地質調查與探勘，經濟部中地質調查所彙刊，第 7 號，23-42 頁。

程楓萍 (1987) 陽明山國家公園水資源調查與利用規劃及管理，陽明山國家公園管理處，共 178 頁。

顏滄波 (1955) 台灣之溫泉，台銀季刊，第七卷，第 2 期，129-147 頁。

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，共 63 頁。

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，共 86 頁。

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，共 48 頁。

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，共 78 頁。

英文部分

Allard, P. (1983) The origin of hydrogen, carbon, sulfur, nitrogen and rare gases in volcanic exhalations- evidence from isotope geochemistry: In : Forecasting Volcanic Events : *Elsevier, Amsterdam*, 337-386.

Chambers, L.A. and Trudinger, P.A. (1979) Microbiological fractionation of stable sulfur isotopes: *J. Geomicrobiology*, **1**, 249-293.

Chen, C.H. (1975) Petrological and chemical study of volcanic rocks from Tatun Volcano Group: *Proc. Geol. Soc. China*, **18**, 59-72.

Chen, C.H., Chen, C.H., Mertzman, S.A. and Shen, J.J. (1999) An unusual late Cenozoic volcanic zone in northern Taiwan behind the southern Okinawa Trough: *J. Geol. Soc. China*, **42**, 593-612.

Chen, C.H. and Wu, Y.J. (1971) Volcanic geology of the Tatun geothermal area, northern Taiwan: *Proc. Geol. Soc. China*, **14**, 5-20.

Cherng, F.P. (1979) Geochemical exploration of hot spring areas in

- Taiwan: *Min. Metal.*, **22-4**, 72-83.
- Chu, C.J., Lee, C.T. and Teng, L.S. (1998) Structural features and Quaternary tectonics of the Chinshan Fault, Northern Taiwan: *J. Geol. Soc. China*, **41-1**, 25-42.
- Hoefs, J. (1997) *Stable Isotope Geochemistry: Berlin- Heidelberg, Springer-Verlag, 4th. edi.*, 241pp.
- Juang, W.S. (1993) Terrestrial inert gases: isotopes tracer studies and clues to primordial components in the mantle: *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **11**, 371-414.
- Pooter, R.P.E., Varekamp J.C., Poreda, R.J., Van Bergen, M.J. and Kreulen, R. (1991) Chemical and isotopic compositions of volcanic gases from the east Sunda and Banda arcs, Indonesia: *Geochim. Cosmochim. Acta*, **55**, 3795-3807.
- Song, S.R., Yang, T.F., Yeh, Y.H., Tsao, S.J. and Lo, H.J. (2000) The Tatun Volcano Group is active or extinct: *J. Geol. Soc. China*, **43-3**, 521-534.
- Szakacs, A. (1994) Redefining active volcanoes a discussion: *Bull. Volcanol.*, **56**, 321-325.
- 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: *J. Geol. Soc. China*, **35**, 1-18.
- Wang, K.L., Chung, S.L., Chen, C.H., Shinjo, R., Yang, T.F. and Chen, J.C-H. (1999) Post-collisional magmatism around northern Taiwan and its relation with opening of the Okinawa Trough: *Tectonophysics*, **308**, 363-376.
- Yang, C.H. and Chen, C.S. (1989) Application of the TEM method in the Chinshan fault area, Chinshan, Taiwan: *Proc. Geol. Soc. China*, **32-4**, 369-381.
- Zobell, C.E. (1958) Ecology of sulfate-reducing bacteria: *Prod. Monogr.*, **22**, 12-25.

